

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Факультет електроніки  
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра мікроелектроніки  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК 621.372

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ О.В.Борисов  
(підпис) (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” травня 2018 р.

**Магістерська дисертація**

**на здобуття ступеня магістра**

зі спеціальності 153 –Мікро- та наносистемна техніка  
(код і назва)

на тему: Волоконно-оптична лінія зв'язку із застосуванням технології  
спектрального ущільнення каналів в сегменті мережі УРАН в місті  
Хмельницькому

Виконав: студент 6 курсу, групи ДП-62м  
(шифр групи)

Михайлов Олексій Дмитрович \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Науковий керівник: доц., канд. техн. наук М. Р. Домбругов \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з нормоконтролю доц., к.т.н. Орлов А.Т. \_\_\_\_\_

Консультант з інформаційних питань ст. викл., к.т.н. Діденко Ю.В. \_\_\_\_\_

Рецензент директор Асоціації УРАН, с.н.с., к.т.н. В. Г. Галаган \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць  
інших авторів без відповідних  
посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2018 року

## РЕФЕРАТ

Дипломну роботу виконано на 64 сторінках, що містять 5 розділів, 20 ілюстрації, 15 джерел в переліку посилань.

Об'єктом дослідження в роботі є топологія оптичної мережі «УРАН» в м. Хмельницький.

Метою роботи є модернізація топології оптичної мережі «УРАН» в м. Хмельницький із застосуванням технології спектрального ущільнення зв'язку CWDM.

У першому розділі викладено теоретичні відомості наявної на даний час у місті технології PON, її принцип роботи, переваги та недоліки. У другому розділі проведення ознайомлення з технологією спектрального ущільнення каналів CWDM, описан принцип роботи, обладнання, що використовується системою. У третьому розділі наведений варіант модернізації топології оптичної мережі «УРАН» та необхідне обладнання для реалізації технології. В четвертому розділі розроблений старाप проект впровадження технології CWDM у місті, проведений аналіз ризиків та можливостей. У п'ятому розділі викладені висновки з даної магістерської дисертації.

ВОЛОКОННО-ОПТИЧНА ЛІНІЯ ЗВ'ЯЗКУ, PON, CWDM, SFP ТРАНСІВЕРИ, MUX/DEMUX

## ABSTRACT

The thesis was completed on 64 pages containing 5 sections, 20 illustrations, 15 sources in the list of references.

The object of research in the work is the topology of the optical network "URAN" in the city of Kemlnitsky.

The aim of the work is to modernize the URAN optical network topology in Khmelnytsky using CWDM spectral compaction technology.

In the first section the theoretical information of the PON technology available at the present time in the city is presented, its principle of work, advantages and disadvantages. The second section introduces CWDM spectrum compaction technology, describes the operating method, equipment used by the system. The third section presents an option for upgrading the topology of the URAN optical network and the necessary equipment for the implementation of the technology. In the fourth section, a start-up CWDM technology implementation project was developed, risk analysis and opportunity analysis was conducted. In the fifth section, conclusions from this master's thesis are presented.

FIBER-OPTICAL LINE OF COMMUNICATION, PON, CWDM, SFP  
TRANSCEIVERS, MUX/DEMUX

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ PON .....	9
1.1 Перехід мереж доступу на оптичні технології.....	9
1.2 Типи архітектур мереж доступу .....	11
1.3 Сучасна технологія оптичних мереж доступу .....	14
1.4 Різновиди PON .....	16
1.5 Активне обладнання PON .....	20
1.6 Оптичні кабелі і муфти для PON .....	22
1.7 Оптичні розгалужувачі для PON.....	26
1.8 Оптичні з'єднувальні шнури для PON.....	29
1.9 Переваги та недоліки PON технології.....	31
РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ СПЕКТРАЛЬНОГО УЩІЛЬНЕННЯ КАНАЛІВ.....	33
2.1 Історія появи CWDM технології.....	33
2.2 Сфера застосування CWDM.....	35
2.3 Технологія CWDM .....	36
2.4 Обладнання CWDM .....	38
2.5 CWDM SFP трансівери.....	39
2.6. Оптичні мультиплексори.....	41
2.6.1 Типи мультиплексорів.....	41
2.6.2 Принцип роботи одномодового сплавного демультимплексора.....	43
2.6.3 Методика виготовлення демультимплексорів.....	46
2.7 OADM модули .....	48
РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ «УРАН» У М. ХЕРСОНІ.....	50
3.1 Топологія волоконно-оптичних кабелів мережі «УРАН» в м. Хмельницькому.....	50
3.2 Обладнання .....	52

3.3 Модифікація топології мережі.....	54
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	56
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	63

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

PON – passive optical network

SDH –Synchronous Digital Hierarchy

WDM – Wavelength Division Multiplexing

CWDM – Coarse Wavelength Division Multiplexing

МД – мережі доступу

FTTH – Fiber to the home

FTTB – Fiber to the building

OLT – Optical Line Terminal

ONT – Optical Network Terminal

SFP – Small Form-factor Pluggable

OADM – Optical Add Drop Multiplexor

## ВСТУП

Бурхивий розвиток технології виробництва систем та засобів зв'язку з практично необмеженою пропускною здібністю і дальністю передачі, а також їх масова використання привело до інформаційно-технологічної революції та формуванню глобального інформаційного соціуму. На сьогодні, телекомунікації – це одна з найбільш швидко розвиваючихся високотехнологічних і наукоємних галузей світової економіки. Рівень розвитку технологічних розробок, виробництва і впровадження в різні сфери діяльності телекомунікаційних систем багато в чому формує позитивний образ передової держави.

Системи з мультиплексування по довжині хвилі – системи WDM – за останні роки стрімко розвивались та продовжують розвиватися в оптичні системи з можливістю маршрутизації та комутації по довжині хвилі. Вони стали використовуватися не тільки з системами SDH, але й реалізуються самостійно (як транспортні системи для магістральної передачі масивного трафіку ємністю до 6,4 Тбіт/с), або використовують свої можливості по прозорій передачі потоків даних, що генеруються іншими технологіями.

Тому, модернізація наявних оптичних мереж та підготовка їх до майбутніх вдосконалень є важливою задачею на сьогоднішній день

## РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ PON

### 1.1 Перехід мереж доступу на оптичні технології

На даний час, найбільш швидко розвиваючим сегментом сфери телекомунікації є мережі доступу. За допомогою їх оператори надають свої послуги абонентам, а оскільки зв'язок важливий завжди, то мережі доступу окупаються навіть в умовах несприятливої економічної кризи. Телекомунікаційна сфера завжди розвивається, модифікуються старі технології, з'являються нові, характерні тільки для цих мереж, технічні рішення. Не так давно мережі доступу почали переходити на оптичні технології, що дозволило збільшити пропускну здібність та швидкість зв'язку, таким чином зробивши мережі доступу привабливими технічно та фінансово.

Не так давно всі абонентські кабельні мережі ділилися на 2 типи : телефонні мережі, що застосовували мідні кабелі, та розподільчі коаксіальні мережі кабельного телебачення. Хоча, на сьогоднішній день, телефонія і залишилася привабливою та популярною послугою, проте її починає витісняти попит на послугу інтернету, що дозволяє не тільки зв'язуватися з рідними та близькими, але й шукати інформацію в глобальній мережі. Один з недоліків, які зараз постійно закривається є необхідність у високошвидкістному та широкосмуговому інтернету. Крім того, підвищення запиту на широкосмуговий доступ визначається розвитком нових технологій: відео за запитом, потокове відео, інтерактивні ігри, відеоконференції, передача голосу в комп'ютерних мережах, телебачення високої чіткості (HDTV) та інші.

Для задоволення потреб користувачів інтернет мережі, провайдери повинні враховувати розташування клієнтів, їх основні запити, різноманітні економічні аспекти та тільки після такого аналізу потрібно вибирати технологію широкосмугового доступу. Проектована мережа повинна задовольняти багато потреб, такі як: бути широкосмуговою, гнучкою, надійною, керованою, масштабованою, зручною в експлуатації.



Одним з ранніх рішень широкосмуговості являється використання в мережах доступу модемів xDSL [1]. Проте економія на використанні існуючих лінійних споруд обернулася сильними обмеженнями у швидкості передачі даних. Прокладені багатопарні мідні кабелі розраховані на роботу тільки в невеликому низькочастотному спектрі - не більше десятків кГц. Тому, використовуючи модеми xDSL максимальна швидкість досягалася тільки в деяких парах в загальному кабелі.

Говорячи про швидкість передачі даних необхідно відмітити, що при простому інтернет-обміні необхідно мати як мінімум швидкість 1-2 Мбіт/с, а для потокового відео вже 4-6 Мбіт/с. При потоковому відео вискової розподільчої здатності необхідно всі 20 Мбіт/с (Рис. 1.1.1)

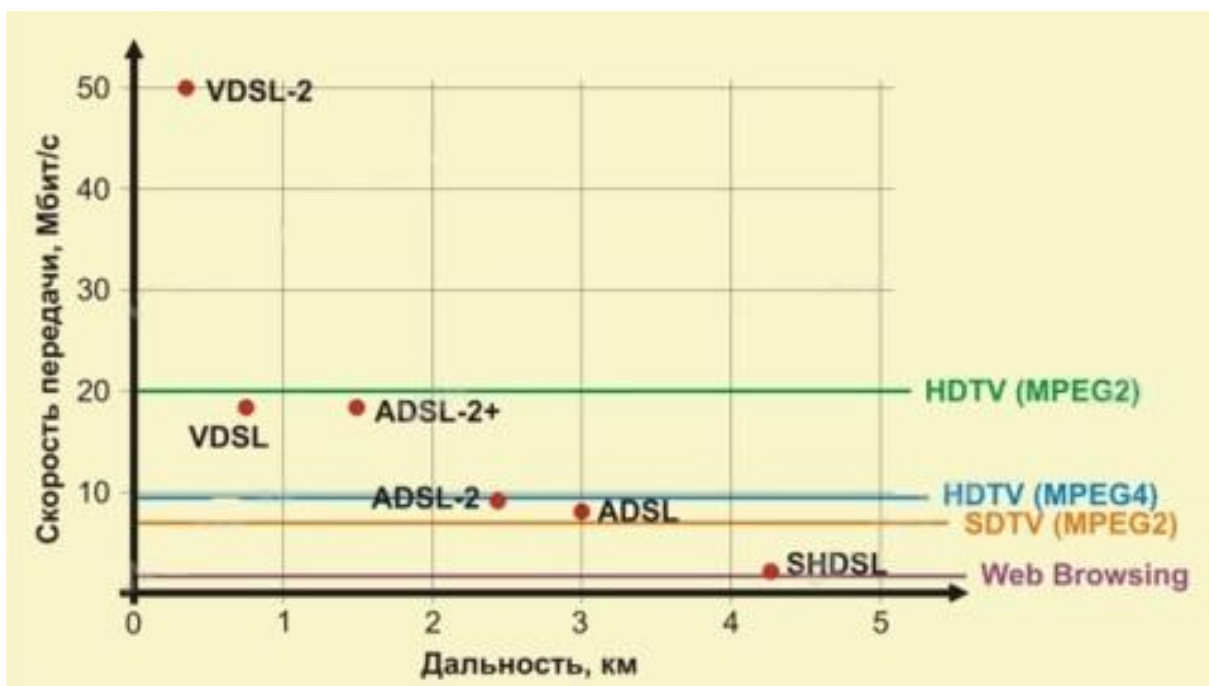


Рис. 1.1.1. Максимальна швидкість різних типів модемів залежно від типу відстані до клієнта.

На сьогодні технологія, що застосовує xDSL вже є неконкурентоспроможною, оскільки вартість 400-парного мідного кабелю дуже велика, що не є економічно вигідним.

Що стосується застосування гібридних волоконно-коаксіальних технологій (HFC), то вони досить добре себе проявили тільки в мережах кабельного телебачення (КТБ). Використання оптичної магістралі в поєднанні з розподільчою внутрішньо-будинковою мережею на коаксіальному кабелі успішно використовується місцевими операторами КТБ.

З вищесказаного випливає, що застосування оптичного волокна та технології, що працює на ньому на сьогоднішній час являється найбільш перспективною та швидко розвиваючою сферою мережі доступу. Використання різноманітних технологій, такі як PON, SDH, WDM та інші добре проявили себе, дали змогу досягнути швидкості передачі даних 1-40 Гбіт/с, а технологія спектрального ущільнення дозволила не тільки умістити всі потоки в одну оптичну жилу, але й виявилася прекрасним економічним рішенням. Навіть сьогодні оптичні технології постійно удосконалюються і здешевлюються.

## 1.2 Типи архітектур мереж доступу

Існують декілька типів архітектур мережі доступу, всі вони характеризуються ступенем відстані оптичного терміналу від абонента. Сектор стандартизації Міжнародного Союзу Електрозв'язку (ITU-T) виділяє кілька наступних характерних варіантів (рис. 1.2.1.).



Рис. 1.2.1. Архітектури мереж доступу.

Як видно з рисунку, будь-яка з цих архітектур потребує наявності шафи з розподільчими мідними кабелями. Звісно, що чим коротша протяжність мідного кабелю, тим більша пропускна здатність мережі. Структура Fiber to the home (FTTH) припускає підведення оптичного кабелю зразу до абонента, тим самим майже уникаючи використання мідного кабелю, звідси збільшивши максимальну швидкість передачі даних.

Перед вибором архітектури мережі потрібно звернути увагу, в першу чергу, на щільність розміщення абонентів. Так, наприклад, архітектура Fiber to the building (FTTB) використовується для підключення багатоповерхових будинків, а для підведення інтернету до групи низько поверхових будинків або офісів краще використовувати FTTC.

У сучасних оптичних мережах доступу можуть використовуватися різні топології мережі (схеми з'єднання вузлів). Вибір оптимальної топології залежить від цілого ряду чинників, пов'язаних з конкретними умовами проектування (щільність абонентів, їх розташування, види послуг т.ін.), а також від базової оптичної технології.

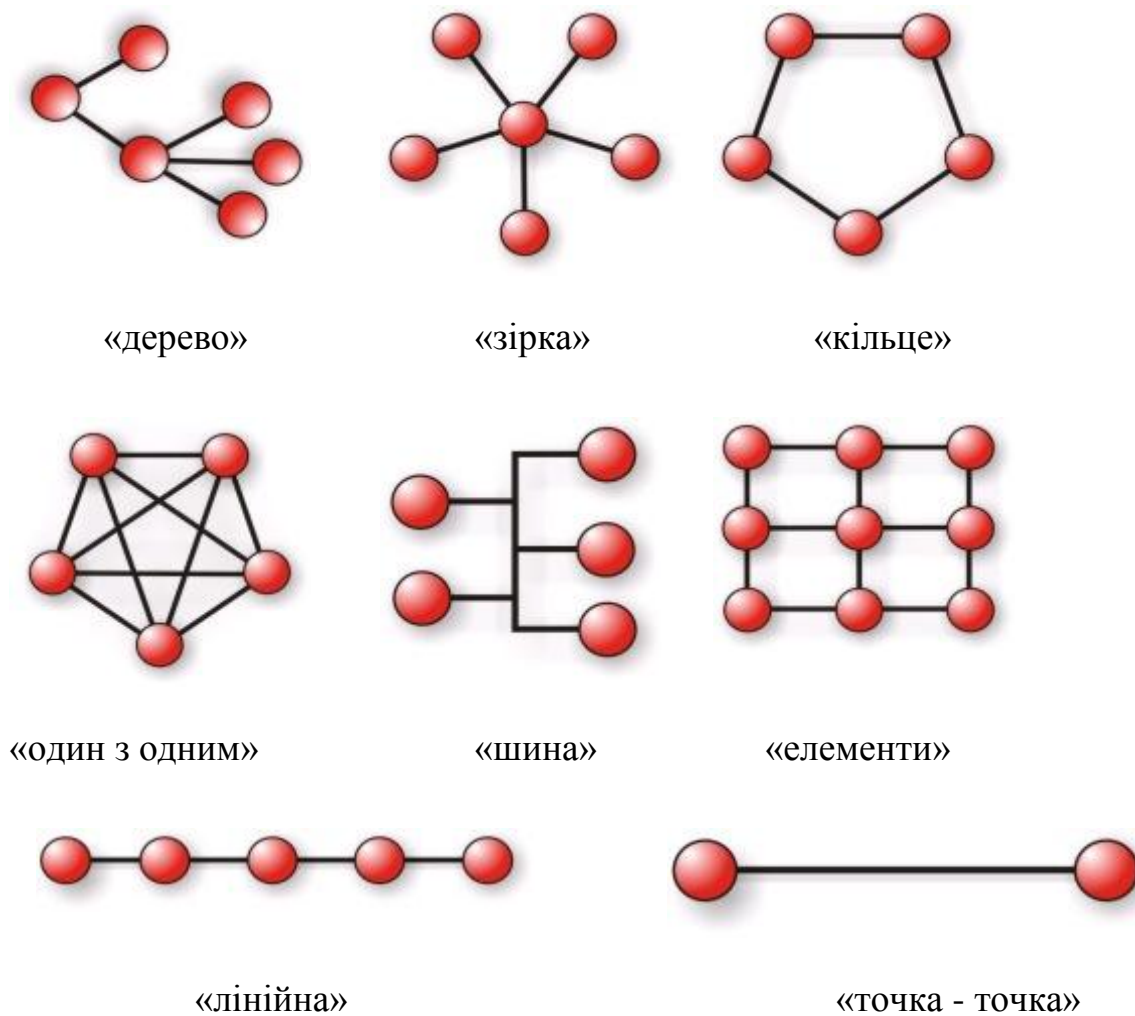


Рис. 1.2.2. Типи топології оптичної мережі доступу.

Останнім часом на оптичних мережах доступу найбільш часто використовуються три інтегральні технології:

- Мікромережі SDH (Micro SDH);
- Активні мережі Ethernet (Active Ethernet, AE);
- Пасивні оптичні мережі (Passive Optical Network, PON).

### 1.3 Сучасна технологія оптичних мереж доступу

На сьогоднішній день, серед технологій оптичних мереж доступу найбільш зарекомендувала себе Passive Optical Network (PON). Її ідея полягає у використанні пасивних пристроїв, що допомагають підключити щільно розташованих абонентів, тим самим збільшивши пропускну здібність передачі даних при мінімальних капітальних витратах. Таке рішення створює розгалужену мережу, збільшеного деревовидної топології, використовуючи, в основному, спліттери. Вся інформація передається від оптичного лінійного терміналу (Optical Line Terminal – OLT), що знаходиться зазвичай у провайдерів, до оптичних мережевих блоків у кінцевих користувачів (Optical Network Unit або його ще називають Optical Network Terminal – ONT).

Передача даних здійснюється за одножильною технологією, тобто по одній жилі, але на різних довжинах хвиль. У прямому потоці (від абонента до станції) використовують довжину хвилі 1310 нм, а в зворотному (від станції до абонента) - 1490 нм або 1550 нм [2]. Оптична потужність з виходу OLT ділиться нерівномірно, залежно від відстані до абонентів, таким чином залишаючи рівень сигналу на ONT приблизно однаковим. Для телевізійного сигналу, зазвичай, залишають для використання довжину хвилі 1550 нм. Для передачі багатьох сигналів на різних довжинах хвиль по одній жилі використовують технологію WDM.

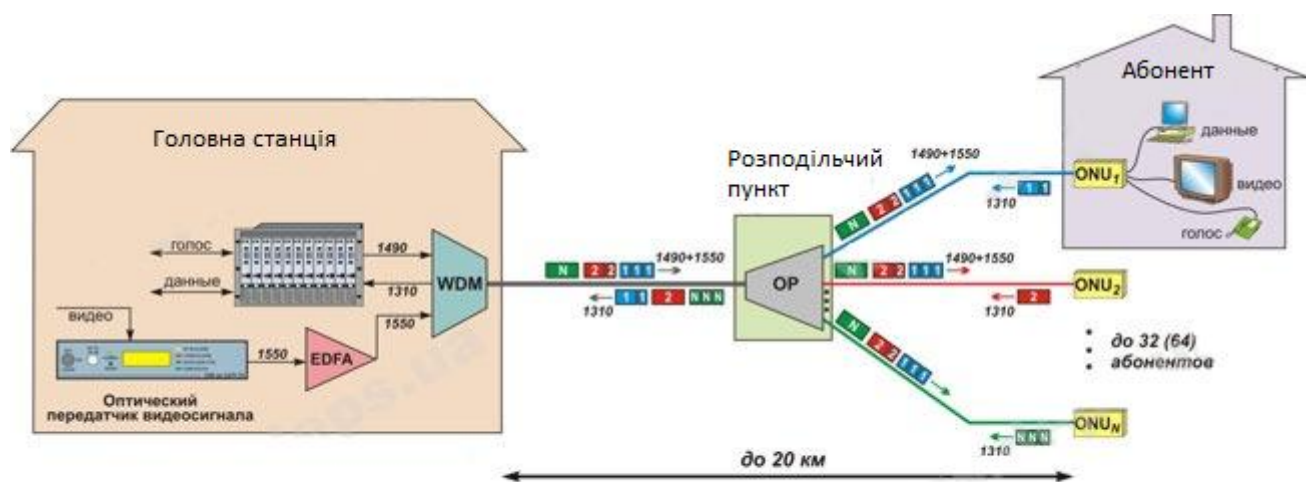


Рис. 1.3.1. Принцип роботи PON технології.

Як ми можемо побачити з наведеної схеми (рис.1.3.1.), на ONU поступають дані, розраховані на інші ONU також, але кожен виділяє лише свою частину. У зворотньому випадку кожен ONU передає інформацію в свій виділений момент часу, і лише тільки після об'єднання з іншими поступає на OLT.

Застосування технології PON в мережах доступу має чимало переваг:

- економія волокон в абонентських оптичних кабелях;
- значна економія оптичних випромінювачів на головній станції;
- можливість надання трьох видів інформації (згідно концепції Triple Play) - голосу, відео і даних;
- відсутня необхідність електроживлення мережевих елементів (крім кінцевих);
- невеликі витрати на обслуговування;
- проста можливість підключення абонентів (навіть без перерви зв'язку);
- можливість динамічного розширення смуги - збільшення швидкості передачі працюючим абонентам за рахунок непрацюючих в даний момент;
- подальше збільшення швидкості передачі (до 10 Гбіт/с) і вище без заміни обладнання лінійного тракту (оптичні кабелі, розгалужувачі, з'єднувачі);

На сьогоднішній день PON є оптичною мережевою технологією з найбільш динамічним розвитком. У найбільш розвинених країнах світу кількість абонентів PON щороку зростає на 30-40%. В Україні в останні роки успішно побудовані мережі PON у Київській, Харківській, Дніпропетровській, Рівненській областях. Проте, однією з проблемою, що стримує розвиток PON є вартість активного абонентського обладнання

## 1.4 Різновиди PON

PON технологія поділяється на кілька різновидів, залежно від її протоколів передачі даних.

Табл. 1.4.1 Різновиди пасивних мереж та їх стандарти.

Назва	Стандарт
APON (ATM PON)	ITU-T G.983.x
BPON (Broadband PON)	ITU-T G.983.x
EPON (Ethernet PON)	IEEE 802.3ah
GPON (Gigabit PON)	ITU-T G.984.x

Однією з перших технологій, що була розроблена на в середині 90-х років являлася APON [3]. Передача даних в такій технології базувалася на принципі ATM і , таким чином, забезпечувалася швидкість передачі 155 Мбіт/с, у разі симетричного режиму, та 622 Мбіт/с в прямому потоці і 155 Мбіт/с в зворотному потоці в асиметричному режимі. Для забезпечення успішної передачі даних та уникнення їх змішування OLT робило запит у ONU на дозвіл відправки інформації. У наш час технології APON майже не використовується.

Наступним кроком вдосконалення стала технологія BPON. В цьому випадку швидкість передачі даних була дещо більша 622 Мбіт/с в симетричному режимі та 1244 і 622 Мбіт/с в асиметричному режимі. Також була виділена довжина хвилі 1550 нм для потоку відеоінформації. Після появи технології GPON, BPON відійшла на другий план, в основному з-за економічних причин. Технологія GPON була в рази більш високошвидкісною.

На початку 2000 р була розроблена технологія EPON, яка використовувала дуже популярну на той час в локальних мережах технологію Ethernet [3]. Швидкість передачі даних дуже збільшилася – в прямому та зворотному потоці швидкість досягла 1 Гбіт/с на основі IP-протоколу для 32 абонентів. EPON часто зрівнюють з GEPON (Gigabit Ethernet PON), яка має такий же стандарт - IEEE 802.3ah. Максимальна дальність передачі даних досягає 20 км, що в межах міста є достатньою. Для прямого потоку використовують довжину хвилі в 1490 нм, зворотньому потоку 1310 нм, а також 1550 нм для телевізійних каналів. Для контролю змішування та конфліктів сигналу використовується протокол MPCP (Multi-Point Control Protocol).

Ще однією технологією, що використовується зазвичай великими операторами, являється GPON. GPON є успадкоємцем технологій APON – BPON, проте як ми бачимо з назви, має набагато вищу швидкість передачі даних - 1244 Мбіт/с в симетричному режимі та 1244 Мбіт/с і 2488 Мбіт/с в асиметричному режимі. Максимальна дальність роботи технології – 20 км, з можливістю її збільшення до 60 км, кількість підключень абонентів – до 64. Єдиним великим недоліком такої системи є дуже висока вартість обладнання, саме тому GPON використовують тільки великі оператори.

Наступна таблиця зрівнює характеристики основних технологій PON.

Табл. 1.4.2. Порівняльні характеристики технологій PON.

Характеристики	APON (BPON)	EPON	GPON
Інститут стандартизації	ITU-T SG15/ FSAN	IEEE/EFMA	ITU-T SG15/ FSAN
Дата прийняття стандарту	1998 р	2004 р	2003 р



Стандарт	ITU-T G.981.x	IEEE 802.3ah	ITU-T G.984.x
Швидкість передачі даних, прямий/зворотній потік, Мбіт/с	155/155  622/155  622/622	1000/1000	1244/155,622,1244  2488/622,1244,2488
Базовий протокол	ATM	Ethernet	SDH
Лінійний код	NRZ	8B/10B	NRZ
Максимальний радіус мережі, км	20	20	20
Число абонентів на одне волокно	32	16	64
Додатки	Будь-які	IP, дані	Будь-які
Коректування помилок FEC	Передбачена	Нема	Необхідна
Довжини хвиль прямого/зворотнього потоку, нм	1550-1310  (1480-1310)	1550/1310  (1310/1310)	1550/1310  (1480/1310)
Динамічно розподіляючи смуги	Є	Підтримка	Є
IP-фрагментація	Є	Немає	Є
Захист даних	Шифрування відкритими ключами	Немає	Шифрування відкритими ключами
Резервування	Є	Немає	Є
Оцінка підтримки голосових додатків	Висока	Низька	Висока

На сьогоднішній день, все більше і більше операторів переходять на технологію спектрального ущільнення каналів WDM та використовують її разом з технологією PON. Таким чином виникає нова система WDM PON.

WDM технологія дозволяє передавати весь потік інформації по одній жилі, а кожен термінал клієнта за допомогою оптичного фільтра виділяє необхідну довжину хвилі та отримує дані. Таким чином, швидкість передачі інформації збільшилася до 10 Гбіт/с, а підключивши певні оптичні трансивери можна досягнути швидкості 40 Гбіт/с. Також, завдяки простоті системи можна в будь-який час налаштувати пропуску здібність системи, модифіковувати кінцеву систему, додавати або видаляти ONU пристрої без втручання в загальну систему. Вже зараз WDM PON несе великі переваги разом з економією коштів.

Серед вищеназаних різновидів PON деякі з технологій вже не мають велику конкурентоспроможність. Серед таких є технологія BPON, що використовує платформу ATM, тим самим не забезпечує необхідну швидкість передачі даних.

Технологія ж GPON ще може себе проявити на ринку, оскільки платформа SDH не тільки забезпечує захист інформації, але й достатню швидкість передачі. Проте, на відмінну від WDM PON, має високу вартість обладнання, загальну складність системи та окупується тільки при великому завантаженні системи.

GEAPON вважається найекономнішою з всього різновиду систем, оскільки не має функції підтримки TDM, захисту інформації та інше. Проте ця технологія має найкраще співвідношення ціна/якість та достатню швидкість передачі даних. Така система добре себе проявляє у невеликих містах та селах, в основному використовується малими операторами. З розвитком технологій створення систему GEAPON може розвиватися і далі.

## 1.5 Активне обладнання PON

До активного обладнання відносяться операторські та абонентські термінали, тобто OLT та ONT. Для прикладу, розглянемо найбільш поширений серед користувачів OLT кінцевий комплект BBS4000 + і BBS1000 +, що відрізняються лише можливою кількістю підключених абонентів та незначними функціональними особливостями

BBS4000 складається з 2 основних функціональних блоків - GEM04, EPM04. GEM04 організовує 4 канали Gigabit Ethernet з великою швидкістю передачі даних, що можна змінити замінивши SFP модулі, що використовуються в якості оптичних передатчиків та прийомників. SFP модулі зазвичай використовують одномодові волокна та здатні передавати сигнал максимум до 80 км, але зазвичай використовують модулі на передачу до 20 км. Блоки EPM04 призначені для з'єднання концентратора з абонентами мережі на швидкості 1 Гбіт/с. Кожен такий блок може забезпечити підключення 4 каналів GE-PON використовуючи SFP модулі. Для передачі даних використовуються довжини хвилі 1490 нм в прямому каналі, та 1310 нм в зворотньому. Дальність передачі залежить від кількості підключень — це 10 км у випадку 64 підключень та 20 км при 32. Якщо встановити 11 блоків EPM04, то можна забезпечити підключення аж 44 EPON «дерев», тобто до 1408 ONU.

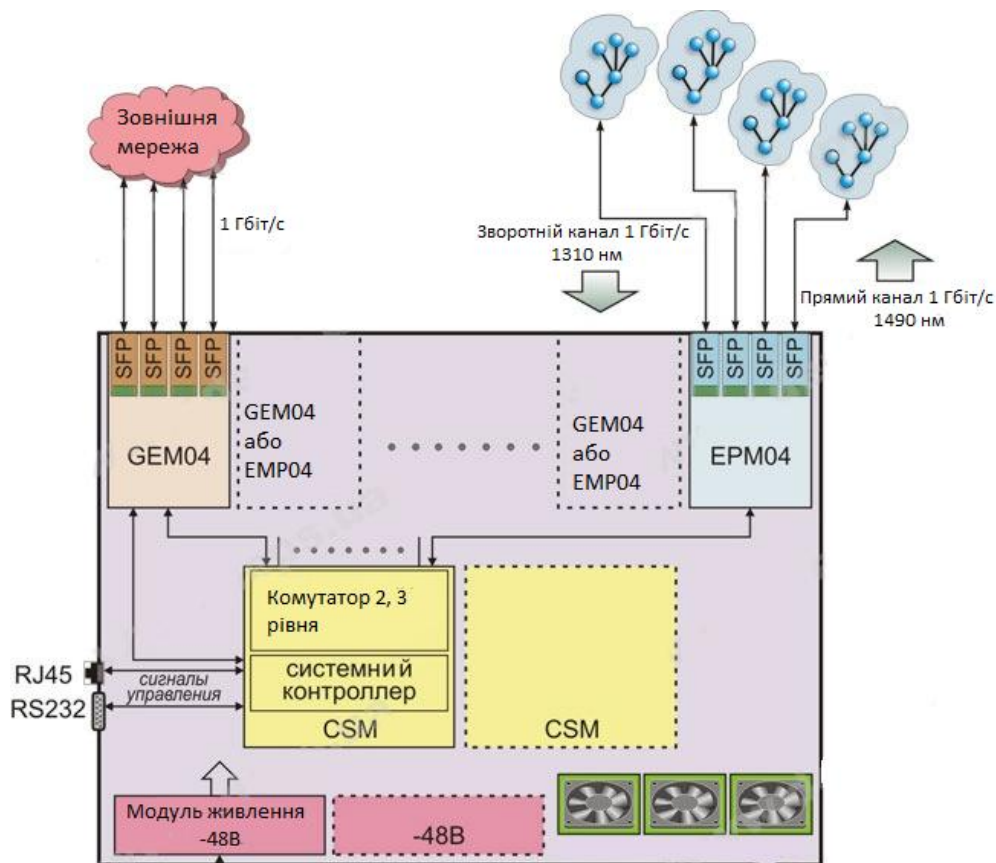


Рис. 1.5.1. Функціональна схема BBS4000.

Для передачі інформації на 20 км використовується одномодовий лазер Фабрі-Перо і фотоприймач на р-in діоді. У випадку, коли дальність перевищує 20 км, то застосовують вузькосмуговий одномодовий потужний лазер DFB та лавинний фотодіод. Динамічний діапазон системи - не менше 29 дБ.

Завдяки наявності слотів у BBS4000, оператор може швидко та гнучко оснастити та поетапно наростити продуктивність комутатора необхідними портами для GEthernet або EPON. Два слоти концентратора призначені для установки центральних сервісних блоків (CSM). Кожен такий блок містить комутатор продуктивністю 48 Гбіт/с.

Системний контролер дозволяє оператору підключитися до системи управління OLT: локально - через порт RS232 (RJ-45) або дистанційно - через

зовнішню мережу IP і блок GEM04. Система управління забезпечує можливість тарифікації трафіка, установки класів обслуговування груп користувачів, динамічний розподіл смуги пропускання (DBA), обмеження вихідної смуги пропускання та інших функцій [4].

### 1.6 Оптичні кабелі і муфти для PON

В PON технології використовують одномодові оптичні волокна типу G.652 або G.657A, що є сумісним з ним. Така вимога документується в стандарті ITU-T G.983. Оптичні кабелі мають багато конструкцій, до них викладаються багато технічних вимог, оскільки вони прокладаються як під землею (наприклад в каналізація) так і над землею (підвіска на опорах, між будинками, тощо), бувають магістральними, розподільчими та абонентськими

В першу чергу, конструкції кабелів визначаються умовами та місцями їх прокладки, оскільки на кабелі впливають як природні чинники (атаки гризунів в каналізація), так і технічні (обрив кабелю, розтягування, скручування, тощо). Іншим параметром є кількість необхідним волокон (2, 4, 8, 12 и т.д.).

Як вже було сказано в каналізаціях принципово важливо мати захист від гризунів, тому оптичні кабелі, зазвичай, обертають в броню виготовленої зі сталевий гофрованої стрічки. Якщо ж є шанс потрапляння вологи, то кабель обертають в товсту поліетиленову оболонку, що має волого захисний бар'єр. У разі підвісних оптичних кабелів важливим фактором є стійкість до розтягування. Це можна забезпечити правильним підбором несучого тросу. Задля уникнення сильного впливу температури, оптичний кабель виготовляють із спеціального матеріалу або надають іншу конструкцію зовнішній оболонці.

Таким чином, до оптичних кабелів надаються такі вимоги:

- негорючість
- гнучкість
- легкість
- захист від ударів
- захист від розтягування, скручування та здавлювання
- міцкість

У табл.. 1.6.1 приведені основні фактори, що можуть впливати на оптичні кабелі, та конструктивні методи їх захисту.

Табл. 1.6.1. Фактори, які впливають на оптичні кабелі.

Умови прокладки	Основні фактори впливу	Конструктивні методи захисту
Безпосередньо в ґрунт	Атаки гризунів	Броня
	Розтягуюче зусилля	Поздовжні силові елементи
	Випадкові удари	Броня
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Роздушуюче зусилля	Конструкція сердечника, броня
У кабельній каналізації	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Розтягуюче зусилля	Поздовжні силові елементи
	Скручування	Зовнішня оболонка
	Атаки гризунів	Броня, прокладка в захисних трубках
Підвіска на опорах	Розтягуюче зусилля	Поздовжні силові елементи
	Перепади температур	Оболонки
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр, гідрофобний заповнювач
	Випадкові удари	Броня, оболонки, арамідні нитки
	Ультрафіолетове опромінення	Зовнішня оболонка
Кабельні вводи в	Займання	Оболонка з LSZH або PVC

будинок	Атаки гризунів	Броня
	Проникнення вологи	Вологозахисний бар'єр
	Розтягуюче зусилля	Поздовжні силові елементи
Усередині приміщень	Займання	Оболонка з LSZH або PVC
	Вигин з малим радіусом	Оболонки
	Розтягуюче зусилля	Арамідні нитки
	Випадкові удари	Оболонки, арамідні нитки
	Роздушуюче зусилля	Оболонки, арамідні нитки

Для з'єднання різних ділянок кабелю між собою використовують кабельні муфти. Їх основним призначенням являється розміщення та захист оптичних волокон. Конструктивно, муфти містять в собі так звані сплайс-касети, в які розміщують з'єднання, що знаходяться в захисних термоусаджувальних гільзах. Для компактної укладки запасу волокна, його згинають з допустимим радіусом, який не повинен перевищувати 30 мм. Таким чином муфт запобігає потраплянню вологи всередину, захищає від механічних і кліматичних впливів.

Муфти бувають прохідними, тобто такими де кабельні входи знаходяться з протилежних сторін, та тупиковими, де входи з одного боку. Щодо корпусу, то конструктивно він теж розрізняється на плоским та круглий. Вибір одного з виду корпусу визначається в першу чергу місцем та умовами його установки. Наприклад, плоскі корпуси зручніше кріпити до стін будинків, колодязях, в підвалах, тобто в місцях з плоскою площиною. Тупикові муфти використовуються у випадку підводу кабеля тільки з однієї сторони (на опорах освітлювальних стовбів), закріплюються за допомогою металевої скоби чи кронштейна. У випадку прохідних муфт, використання більш придатне при прокладанні в ґрунті, в колодязях чи в повітрі на несучому тросі.

Для запобігання попадання вологи, пилу, захисту від перепаду температури та інших довготривалих чинників, кабельні муфти надійно герметизуються за допомогою термоусаджувальних трубок. Процес усадки проходить досить швидко і забезпечує хорошу надійність герметизації, при правильному виконанні

сіх етапів роботи. Для здійснення усадки використовують спеціальний монтажний фен або, при відсутності електроживлення, паяльник, що передбачає роботу з відкритим полум'ям.

Ще одним способом являється використання герметизуючої стрічки. Її намотують на оболонку кабелю в місці його введення в муфту. Після чого на вхід накидують гайку для захисту, а в той час м'яка стрічка заповнює весь вільний простір в місці введення, надійно герметизуючи муфту.

Таким чином, можна уникнути використання гарячих методів монтажу, проте дуже важливо герметизувати акуратно і ретельно. Крім того, герметизуючі стрічки не бажано використовувати для муфт, що знаходяться в місцях постійного впливу вологи.



Рис. 1.6.1. Приклад тупикової, плоскої муфти.

При виборі необхідного типу муфти також необхідно враховувати кількість кабельних вводів (портів) та їх діаметр. Деякі конструкції допускають введення в



один великий порт двох оптичних кабелів невеликих діаметрів з поділом їх при термоусадці металевою кліпсою з термоклейовою вставкою.

### 1.7 Оптичні розгалужувачі для PON

Оптичний спліттер (розгалужувач) призначений для розподілу оптичних сигналів при будівництві пасивних оптичних мереж (PON) та в системі кабельного телебачення (CATV). За допомогою спліттерів оптичний сигнал від єдиного передавача прямого каналу можна направити на кілька оптичних приймачів. Те, яким буде їх кількість, залежить безпосередньо від показника потужності передавача.



Рис. 1.7.1. Оптичний розгалуджувач x3, SM, 3\*33%, 1310/1550 нм, 0,9 мм, SC/APC

Спліттер відноситься до багатополюсних пристроїв, тобто подається вхідний оптичний сигнал, який потім розділяється на декілька серед його вихідних полюсів.

Головні характеристики розподілу потужності - це коефіцієнт спрямованості, коефіцієнт відгалуження та рівень внесених втрат.

Головні вимоги до параметрів спліттерів:

- високий коефіцієнт спрямованості;
- невеликі втрати внесення;
- мінімальні похибки від встановленого коефіцієнта відгалуження;
- широкополостність пристроя;
- збереження модового складу випромінювання.

Якщо розглядати мережі кабельного телебачення, то тут застосування знаходять два типи разветвителей: дільник і відгалуджувач.

#### Дільник

Являє собою Х-тип розгалуджувача. Це оптичний багатополіусник пасивного типу. Оптичний сигнал, який подається на вхід, в певних пропорціях розподіляється серед його вихідних портів. Як правило, розподіл відбувається рівними частинами, однак на замовлення можна виготовити пристрої з іншими необхідними параметрами. Так, наприклад спліттер оптичний 1x2 має співвідношення розгалуження на виходах 50/50, але можна виготовити і 25/75.

#### Відгалужувач

Це розгалужувач Y-виду. вихідна потужність при цьому розподіляється між виходами нерівномірно. Основна частина потужності надходить в магістральний канал, а мала її частина надходить на відгалуження. Відгалужувач - це похідний елемент від розгалуджувача Х-типу, вироблений шляхом укорочення волокна одного з портів на вході. Щоб мінімізувати відбиття сигналу, кінець повинен бути оплавлений належним чином. За допомогою розгалуджувача Y-типу виробляють відгалуження певної частини потужності оптичного потоку. У кабельних мережах найбільшого поширення набули відгалуджувачі, що мають два виходи.

Існує два методи виробництва оптичних разветвителей: планарний і сплавний.

#### Планарний метод

В його основі лягає дія планарних хвилеводів. Самі хвилеводи виготовляються з шару ніобата літію, який в свою чергу вирощений на монокристалі кремнію. На наступному етапі хвилеводи покривають відбиваючим покриттям. Кожен з таких хвилеводів розділяє сигнал на дві частини. Щоб збільшити кількість виходів, робляють послідовне стикування хвилеводів. Звідси стає зрозуміло, чому кількість виходів в планарних спліттерах завжди збільшується вдвічі.

#### Сплавний метод

Завдяки цьому методу виробляються сплавні оптичні розгалужувачі. Принципом виготовлення являється зварювання двох волокон без оболонки один з одним, при дотриманні певної температури.

Сплавні розгалужувачі розділяються в свою чергу на дві категорії:

Рівномірні сплавні подільники. На виході даних пристроїв потужність сигналу розподіляється на рівні частини. Якщо відбувається поділ на два канали, величина потужності сигналу на вході буде вдвічі більше, ніж двох сигналів при виході.

Нерівномірні сплавні оптичні подільники. При цьому показники потужності сигналу при виході знаходяться в певних пропорціях один до одного. Наприклад, 20/30/30/20. Це відбувається за рахунок більшого або меншого проникнення одного волокна в інше.

Вартість спліттера, як і вартість оптичного кабелю (а також патч-корда, ціна на який залежить від моделі і властивостей) коливається в залежності від його характеристик і виробника.

## 1.8 Оптичні з'єднувальні шнури для PON

Оптичні коннектори використовуються для окінцевування оптичних волокон для здійснення їх стикування з активним чи пасивним телекомунікаційним обладнанням. Такий роз'єм являє собою просту і надійну конструкцію, яка дозволяє з'єднувати оптичні кабелі (наприклад, кабель ОПЦ) і забезпечує зниження втрат сигналів.

Сьогодні на ринку можна вибрати велику кількість роз'ємів, які використовуються для волконно-оптичних ліній зв'язку та мають різне призначення. Найпоширенішими типами оптичних конекторів є:

- SC-коннектори;
- FC-коннектори;
- ST-коннектори;
- LC-коннектори.

FC-, SC-, ST-коннектори мають стандартні розміри, а типу LC - мініатюрні. Принцип роботи всіх типів роз'ємів є однаковим, розрізняються вони лише розмірами, способом фіксації і типом кріплення до гнізда. Вибирати тип конектора слід в залежності від застосовуваного виду обладнання, запланованих завдань по установці лінії зв'язку і необхідного рівня точності.

Конектор LC знаходить своє застосування в мережах: багатомодових і одномодових. Наконечник такого конектора є керамічним і має розмір 1,25 міліметрів. Виготовляється його корпус з полімерного матеріалу. Спосіб підключення - за принципом «тягни-штовхай» і носить назву «Push-Pull».

Даний тип конектора володіє прямокутним перетином. Пристрій виконується на пластмасовій основі і має засувку, яка подібна до тієї, що застосовується в модульних конекторах, які відносяться до мідних кабельних систем. Підключення конектора типу LC здійснюється схожим чином. Передбачається двобічний варіант

такого типу коннектора, коли два коннектора можуть з'єднуватися за допомогою полімерного зажиму.

Завдяки малим розмірам конекторів даного типу забезпечується більша щільність їх підключення і стабільність їх фіксації при виведенні на оптичні розетки. Також завдяки малим розмірам він активно використовується виробниками активного мережного обладнання в системах передачі даних. Коннектори одномодові виконані в корпусі синього кольору, а багатомодові варіанти виготовляються в червоному кольорі корпусу.

Коннектори розділяються на:

- симплексні;
- дуплексні.

Основна відмінність симплексного і дуплексного конекторів полягає в формі кліпси (пластмасової частини коннектора). У симплексного варіанта кліпса має дві частини: одна допомагає фіксувати коннектор в розетці, а друга служить для виймання його з розетки шляхом натискання на цю частину. Фіксуюча частина відмінно повторює форму каналу адаптора, куди вставляється роз'єм. У розетці коннектор тримається за рахунок двох штирьків, завдяки яким пристрої такого типу щільно сидять в розетці.

Дуплексний варіант має засувку, яка практично втоплена в розетку. І так як неможливо за що-небудь зачепитися, такі типи конекторів мають в комплекті холдер, який служить для виймання коннектора з розетки. Працює холдер тільки для пари конекторів. Без його використання витягувати дуплексний коннектор майже немає можливості. А в іншому будова дуплексних і симплексних типів конекторів не має відмінностей, проте застосувати холдер для симплексного варіанту не вийде.

Вартість конекторів даного типу знаходиться приблизно в одному ціновому діапазоні.



Патч-корд SC/PC	Комбінований	Патч-корд SC/PC	-
- SC/PC	патч-корд FC/PC	- SC/PC	
	SC/APC	з волокнами, що мають малі	
		втрати на вигинах	

Рис. 1.8.1. Типи патч-кордів в залежності від типу роз'єму.

## 1.9 Переваги та недоліки PON технології

Як і у будь-якої технології, PON має свої позитивні та негативні сторони

Серед переваг ми можемо виділити:

- Мінімальне використання активного обладнання;
- Мінімізація кабельної інфраструктури;
- Низька вартість обслуговування;
- Можливість інтеграції з кабельним телебаченням;
- Масштабованість;
- Висока щільність абонентських портів.

До недоліків технологій PON можна віднести:

- Загальна смуга пропускання. Смуга пропускання в дереві оптоволоконних ліній мережі PON використовується якомога більшою кількістю

абонентів, що дозволяє отримати прибуток за рахунок зниження витрат на кожного абонента.

Хоча технологія GPON забезпечує загальну пропускну здатність зворотнього потоку, що дорівнює 2,5 Гбіт / с, вона не може відповідати зросту сервісів і майбутніх вимог абонентів в довгостроковій перспективі, оскільки потреби в пропускну здатності зростають експоненціально. Більш того, деяку частину смуги пропускання необхідно резервувати для поточкових послуг (наприклад, IPTV), що призводить до скорочення загальної смуги пропускання.

- Необхідність шифрування. Оскільки PON - це технологія з загальним середовищем передачі, то необхідно шифрування всіх потоків даних. В технології GPON проводиться шифрування тільки зворотнього потоку, а використання надійного вдосконаленого стандарту шифрування (Advance Encryption Standard, AES) з 256-розрядними ключами дозволяє підвищити безпеку особистої інформації кінцевих користувачів і надає сервіс-провайдерам можливість запобігти розкраданню послуг. Однак надійність стандарту AES обумовлює зниження продуктивності.

- Сукупна швидкість передачі даних. У зв'язку з використанням в пасивних оптичних мережах PON загальної передавальної середовища, кожне термінал (ONT або OLT) змушене працювати на сукупній швидкості передачі даних.

- Необхідність більшої потужності оптичного сигналу. При кожному розгалуженні в співвідношенні 1: 2 енергетичний потенціал лінії зв'язку падає на 3,4 дБ. Отже, при розгалуженні в співвідношенні 1:64 енергетичний потенціал лінії зв'язку зменшується на 20,4 дБ. Таким чином, в цій моделі все оптичні передавачі в архітектурі PON повинні забезпечувати в 110 разів більшу потужність оптичного сигналу в порівнянні з архітектурою FTTH «точка-точка» при передачі на тій самій відстані.

- Обслуговування, пошук і усунення несправностей. Пасивні оптичні розгалужувачі не можуть передавати інформацію про несправності в центр управління мережею. Тому за допомогою звичайного оптичного тимчасового рефлектометра (OTDR) дуже складно виявити будь-яку несправність

оптоволоконної лінії між перехідником і точкою термінації оптичної мережі (ONT) абонента. Це значно ускладнює пошук і усунення несправностей в мережах PON і підвищує витрати на їх експлуатацію.

- Стійкість. При пошкодженні точки термінації оптичної мережі (ONT) вона може передавати в дерево оптоволоконних ліній постійний світловий сигнал, що призводить до порушення зв'язку для всіх абонентів цієї пасивної оптичної мережі.

- Міграція технологій. Через якийсь час настане момент, коли необхідно буде оновити розгорнуте обладнання PON новою технологією, що забезпечує велику смугу пропускання. Для цього необхідно замінити кінцеве і активне обладнання мережі. У разі, якщо нові рішення не будуть назад сумісні з існуючими технологіями GPON або EPON, необхідно перед початком міграції встановити на всіх кінцевих пристроях фільтри довжини хвилі.

## РОЗДІЛ 2. ТЕХНОЛОГІЯ СПЕКТРАЛЬНОГО УЩІЛЬНЕННЯ КАНАЛІВ

### 2.1 Історія появи CWDM технології

Оптичне мультиплексування з поділом по довжинах хвиль (назване також хвильовим, або спектральним мультиплексуванням) – WDM (Wavelength-division multiplexing) - порівняно нова технологія оптичного (або спектрального) ущільнення.

Не вдаючись глибоко в історію питання, хочеться відзначити, що технологія WDM була розроблена очевидно раніше 1980 р незважаючи на твердження J.-P.Laude (компанія Instruments SA) про пріоритет компанії в розробці зазначеної



технології. Найбільш ранні опису не тільки техніки хвильового мультиплексірованія, а й розроблених мультиплексорів / демультіплексорів WDM відносяться до 1977 г. [5], тоді як перша знайдена автором публікація J.-P.Laude датована 1981 г. [6].

Це говорить про те, що WDM (як технологія) стала активно розроблятися з початку 70-х років. Перші пристрої були розраховані на використання в популярному в той час 1 вікні (700-850 нм) [7] з орієнтацією на многомодовое ОВ, призначалися для об'єднання 2-4 каналів і базувалися на макро- і мікрооптики. Потім, в силу загальної тенденції, відбувся зсув акцентів в сторону 2 і 3 вікон і на користь одномодового ОВ.

У 1985 р фахівцям Bell Labs (AT & T) вперше вдалося мультиплексувати 10 каналів (2 Гбіт / с) з розносом 1,3 нм. З тих пір ця технологія удосконалюється і набирає силу. Однак аж до 1995 р вона була мало поширена. Перші практичні системи використовували для цілей мультиплексування потоків спрямованих відгалужувачів, щоб об'єднати два канали в одному волокні. Потім мультиплексори WDM стали використовуватися для об'єднання двох несучих 1310 і 1550 нм в одному волокні, даючи можливість не тільки подвоїти ємність ВОЛС, але і створити старі мережі на одномодовом ОВ (використовують 1310 нм) з новими (використовують 1550 нм).

Час широкого визнання WDM як конкурентної технології фактично прийшло п'ятнадцять років тому, коли з'явилися перші повнодуплексні 4 каналні системи з рознесенням несучих 800-400 ГГц. Їх швидкому впровадженню заважала висока вартість обладнання WDM і швидкий прогрес в області створення масових і дешевих мультиплексорів SDH / SONET. Однак останні десять років ця технологія різко збільшила своє поширення на мережах операторів телекомунікації. Зараз промислові системи WDM дозволяють об'єднувати до 128-160 каналів, а та ж Bell Labs, повідомила на початку 2000 р про вдалі експерименти по мультиплексуванню 1024 каналів в одному волокні.

## 2.2 Сфера застосування CWDM

На сьогоднішній день, мережі в великих містах залишаються не модернізованими вже ряска років. Повсемістне застосування PON та збільшення трафіку привело до того, що деякі області загубили можливі ресурси для зростання. Така ситуація відома під назвою «виснаження волокон», коли пропускна спроможність волокон являється недостатньою. Звісно, для великих операторів зв'язку ця проблема є дуже важливою. Для її вирішення і була розроблена CWDM технологія, що є дуже простим і економічним рішенням проблеми. Для впровадження технології можна використати вже прокладені оптичні волокна, тим самим здійснюючи безперебійне обслуговування наявних абонентів.

Умови, в яких доцільне застосування CWDM систем:

- Міські і регіональні оптичні мережі;
- Будівництво мережі в умовах дефіциту ОВ (чи високій вартості оренди ОВ);
- Необхідність збільшення пропускної спроможності існуючих мереж на базі ВОЛЗ;
- Надання безлічі послуг з оптоволоконної пари;
- Побудова оптичних мереж для надання в оренду "віртуального" волокна. CWDM рішення незалежні до різних протоколів передачі інформації. Це дозволяє створювати різноманітні телекомунікаційні послуги в одному транспортному середовищі.
- CWDM створює до 8 логічних пар волокон (каналів), використовуючи різні довжини хвиль, по одному волокну.
- Прозорість для усіх протоколів від 100 Мбіт/с до 2.5 Гбіт/с.
- Будь-яка комбінація сервісів по одному і тому ж кабелю.

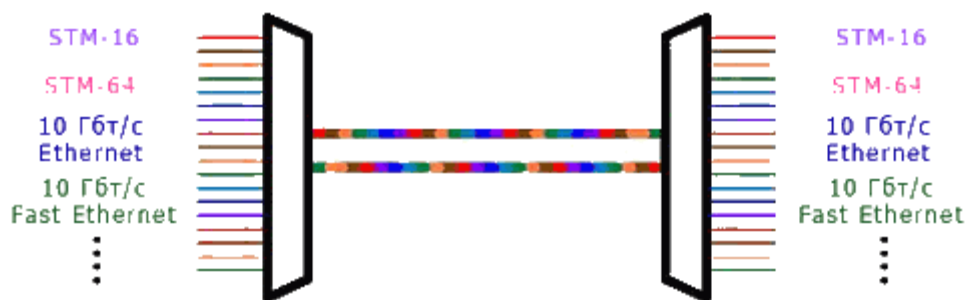


Рис. 2.2.1. Можливі варіанти застосування CWDM.

CWDM технологія дозволяє використовувати різні протоколи передачі інформації, таким чином можна надавати різноманітні телекомунікаційні послуги злишаючись в одному середовищі.

## 2.3 Технологія CWDM

Як вже обговорювалось вище, CWDM технологія ґрунтується на методі спектрального ущільнення оптичних каналів, віддалених один від одного на відстані 20 нм. Кожен пакет інформації передається по оптичному волокну на різній довжині хвилі, тим самим не заважаючи іншим пакетам. Для роботи системи використовуються спеціальні пристрої – оптичні мультиплексори, що об'єднує декілька оптичних несучих хвиль  $\lambda_i$  в один  $\Sigma\lambda_i$  оптичний сигнал, який вводиться в оптичне волокно. На приймаючій стороні відбувається зворотний процес, тобто демультиплексування за допомогою демультиплексорів, відповідно. Зазвичай ці два пристрої об'єднують в один. За допомогою такої технології набагато легше будувати складні топологічні рішення з використанням одного оптичного волокна.

Діапазон оптичних каналів досить великий – від 1270 до 1610 нм, тобто надаючи 18 каналів для використання. Проте, необхідно звернути увагу на тип використовуваного оптичного волокна.

Наприклад, волокна типу G.652b мають водяний пік на довжині хвилі 1383 нм, тому на в цьому діапазоні відбувається великі втрати на випромінювання і, як висновок, затухання сигналу. Таким чином, кількість можливих каналів для використання дещо зменшується.

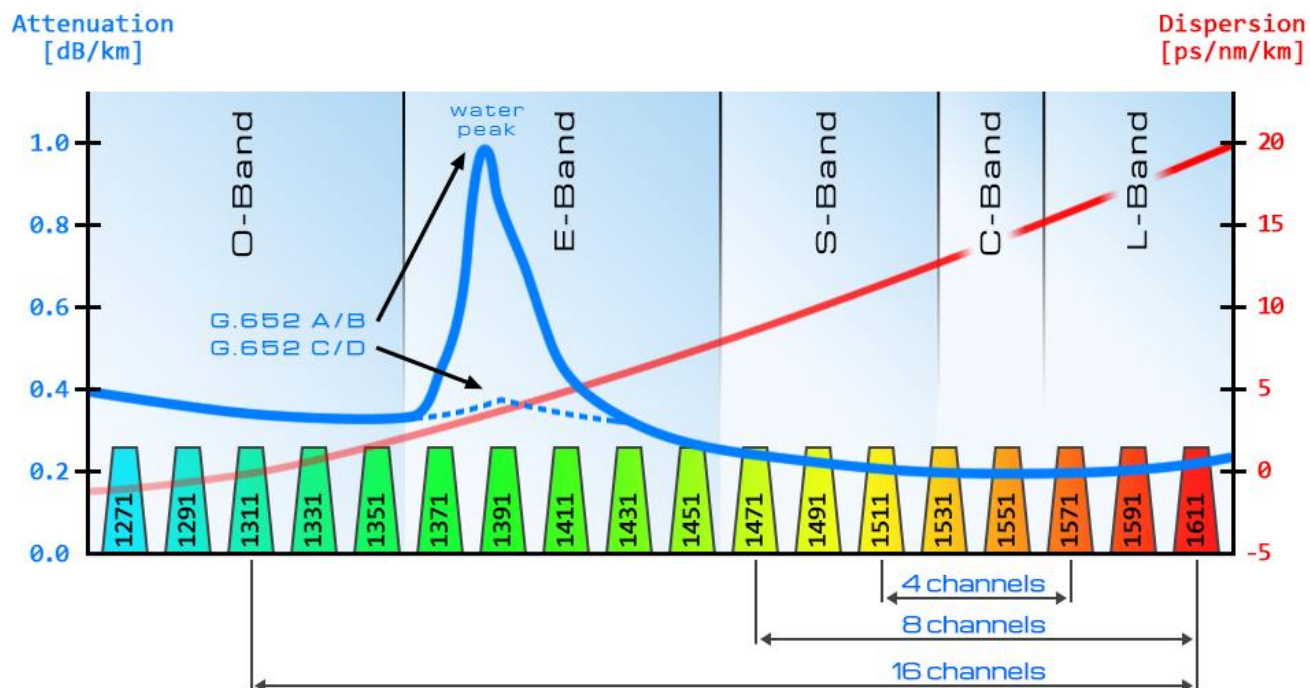


Рис. 2.3.1. Робочий діапазон CWDM в волокнах G.652A/B та G.652C/D

За допомогою системи CWDM можна побудувати мережу, протяжністю аж до 80 км між вузлами доступу та комутаційними центрами мережі провайдера. Технологія CWDM заощаджує чимало коштів, оскільки не тільки дозволяє використовувати вже наявні оптичні волокна, але й забезпечує набагато більшу пропускну спроможність мережі та високу ступінь ефективності роботи, якості та стійкості з'єднань.

Відповідно до рекомендації MCE G.694.2 технологія CWDM використовує 18 несучих хвиль з кроком 20 нм, таким чином ширина діапазону складає 340 нм. Оптичні волокна, що дозволяють використовувати канали в водяному піку в області

1383 нм називаються ZWPF (Zero Water Peak Fiber), LWPF (Low Water Peak Fiber). Їх параметри зазначені в рекомендації ITU - T G.652.C/D. Як видно з назви, водяний пік в таких оптичних волокнах усунений, а величина загасання складає 0,31 дБ/км, що є достатньою для подальшого використання в мережі.

Волокно G.653 виявилось непридатним для нової технології спектрального мультиплексування WDM із-за нульової дисперсії на 1550 нм, що призводила до різкого зростання викривлень сигналу від чотирьоххвильового зміщення в цих системах. Найбільш пристосованим для щільного і високощільного WDM (DWDM і HDWDM) виявилось оптичне волокно G.655, а для розрідженого WDM (CWDM) — нещодавно стандартизоване оптичне волокно G.656.

## 2.4 Обладнання CWDM

До основних елементів CWDM системи належать:

- мультиплексори/демультиплексори (MUX/DEMUX), що підсумовують та розділяють оптичні сигнали;
- SFP трансивери (Small Form Factor Pluggable), що перетворюють сигнал з електричного в оптичний на певну довжину хвилі;

Мультиплексори/демультиплексори хоча і вважаються пасивними елементами системи, проте можуть потребувати підключення до мережі для підтримання сталої робочої температури у разі відсутності зовнішніх охолоджувальних пристроїв.

В основі роботи демультиплексора лежить принцип спектральної селекції довжин хвиль. Спектральна селекція може здійснюватися двома способами: на основі дифракції та на основі інтерференції. Демультиплексори на основі дифракції використовують елементи з кутовою дисперсією, такі як дифракційні решітки, які просторово розділяють довжини хвиль (канали) за елементами лінійки фотодетекторів або торцях оптичних волокон [8]. Демультиплексори на основі інтерференції використовують властивості таких пристроїв, як спектрально-селективні сплави розгалужувачі і оптичні фільтри.

В даний час демультимплексори починають активно застосовувати для побудови локальних систем передачі інформації, а також в апаратурі різного роду рухомих об'єктів. Зокрема, часто стоїть завдання в організації дуплексних систем зв'язку з передачею інформації по одному оптичному волокну одночасно в обох напрямках. У таких системах застосовуються двоканальні демультимплексори з ущільненням по довжинах хвиль 1310 і 1550 нм.

SFP трансівери здійснюють формування оптичних CWDM сигналів з довжиною хвилі у відносно нешироких діапазонах - навколо 1310 нм та 1550 нм з кроком 20 нм. Кожен такий трансівер може працювати як по двох волокнах, так і по одному на двох різних частотах, тобто приймач по одній довжині хвилі, передавач по іншій [9].

Кілометраж у таких трансіверів найбільш поширений – 10 км, 20 км, 30 км, ..., 80 км, разом зі стандартним типом роз'єму для конектора – LC.

## 2.5 CWDM SFP трансівери

SFP CWDM) модулі представляють собою більш сучасну версію WDM з роздільним приймачем і передавачем. SFP CWDM відрізняються від звичайних SFP WDM, в першу чергу, діапазоном каналів передачі, який має діапазон від 1270 до 1610 нм: два додаткових каналу 1270нм і 1290нм і шістнадцять основних (1310нм - 1610нм з кроком 20нм). Приймач у таких модулів широкосмуговий, тобто, два модуля з будь-якими довжинами хвиль передачі можуть працювати в парі. Але для роботи в парі такі модулі використовувати нерозумно, весь потенціал даної технології розкривається при використанні 16-ти модулів з різними довжинами хвиль, підключеними до мультимплексору. Мультимплексор «збирає» світло різних довжин хвиль, який передається з передавачів SFP CWDM модулів, і «об'єднує» зібране в єдиний світловий пучок, що передається потім по одному одномодовому волокну далі. Прийом даних відбувається в зворотному порядку.

Всі сучасні SFP модулі мають підтримку цифрового моніторингу діагностики (Digital Diagnostics Monitoring - DDM), також відому, як функція цифрового оптичного контролю (Digital Optical Monitoring - DOM).



Рис. 2.5.1. Загальний вигляд SFP та SFP+ модулів.

Для використання в 10 Гбіт/с мережах з'явилися нові форм-фактори модулів, одним з яких є SFP +. Причиною появи послужило бажання застосувати вигоди формату SFP для 10-гігабітних потоків, зокрема, необхідність збільшення щільності портів комутаторів. Оскільки розміри модуля малі в порівнянні з модулями інших форматів (частина логіки і елементів живлення була винесена з модуля на пристрій-носії), порти для модулів формату SFP / SFP + успішно розміщуються на 1 юніту (1U) 19-дюймового телекомунікаційного обладнання в кількості 48 штук .

Варто звернути увагу на те, що до обладнання, оснащене SFP + портами, можна підключати і звичайні SFP модулі, які будуть працювати так само, як і в обладнанні з оригінальними SFP портами. Зворотний же процес (установка SFP + модулів в обладнання з SFP-портами) неможливий.

SFP + модулі функціонально відрізняються від SFP тільки швидкістю роботи - вони працюють на швидкостях до 10 Gbps, причому дальність їх роботи обмежена 80км через велику дисперсії на настільки високих швидкостях.

## 2.6. Оптичні мультиплексори

### 2.6.1 Типи мультиплексорів

Оптичний мультиплексор/демультиплексор призначений для підсумовування і розділення оптичних сигналів, які передаються на CWDM довжинах хвиль по одномодовому (Single Mode) оптичному кабелю. Прилад призначений для спільної роботи з трансиверами SFP CWDM сигналів, утворюючи 4 або 8 каналів на 8-й або 16-ти довжинах хвиль в одному волокні або до 32 каналів на двох волокнах. Пристрої відрізняються низьким відображенням сигналу, високою ізоляцією каналів і малими втратами. WDM мультиплексори є пристроями двонаправленої дії, тобто можуть, як розділяти, так і змішувати оптичні сигнали. Пристрої доступні в різних виконаннях, що дозволяє використовувати їх в різних системах передачі.



Рис. 2.6.1. Мультиплексор/Демультиплексор CWDM Mux Demux, 4 канала, 1270-1330нм, Двухволоконный, Корпусной, LC/UPC.

Залежно від поставленого завдання конфігурація CWDM мультиплексора / демультиплексора (Mux / Demux) визначається за такими характеристиками:

- Двоволоконні мультиплексор (2 fiber).



- одноволоконного мультиплексор (1 fiber (single fiber) або bidirectional).
- 4-х або 8-ми канальний мультиплексор (8 або 16 довжин хвиль), що працює на одному волокні.
- 8-ми або 16-ти канальний, що працює на двох волокнах.
- мультиплексор з двома «загальними» (COMMON) висновками для реалізації «кільцевої» топології.

Необхідно відзначити, що в якості мультиплексорів і демультиплексорів використовуються одні й ті ж оборотні оптичні пристрої спектрального ущільнення, які далі будемо називати демультиплексор.

В основі роботи демультиплексор лежить принцип спектральної селекції довжин хвиль. Спектральна селекція може здійснюватися двома способами: на основі дифракції та на основі інтерференції. Демультиплексори на основі дифракції використовують елементи з кутовою дисперсією, такі як дифракційні решітки, які просторово розділяють довжини хвиль (канали) за елементами лінійки фотодетекторів або торцях оптичних волокон [8]. Демультиплексори на основі інтерференції використовують властивості таких пристроїв, як спектрально-селективні сплавні разветвители і оптичні фільтри.

В даний час демультиплексори починають активно застосовувати для побудови локальних систем передачі інформації, а також в апаратурі різного роду рухомих об'єктів. Зокрема, часто стоїть завдання організації дуплексних систем зв'язку з передачею інформації по одному оптичному волокну одночасно в обох напрямках. У таких системах застосовуються двоканальні демультиплексори з ущільненням по довжинах хвиль 1310 і 1550 нм.

Серед різних типів двоканальних пристроїв WDM широке застосування знаходять демультиплексори на основі сплавних одномодових розгалужувачів типу 1x2. Такі пристрої відрізняються досить високим рівнем оптичних характеристик при відносно низькій вартості виробів.

Одним з основних вимог при виготовленні демультиплексорів є досягнення високого значення коефіцієнта оптичної ізоляції каналів при демультиплексированні і малого значення внесених втрат. Крім того, необхідна

достатня стійкість до впливу зовнішніх факторів, зокрема, до зміни температури (від  $-60$  до  $+85$  °C).

Аналіз характеристик елементної бази ВОСП, що випускається в даний час поряд зарубіжних фірм і вітчизняних підприємств показує, що характеристики промислових демультиплексорів не в повній мірі відповідають зазначеним вимогам. Тому є актуальним розробка процесів створення демультиплексорів з поліпшеними оптичними характеристиками і підвищеною стійкістю до зовнішніх впливів.

### 2.6.2 Принцип роботи одномодового сплавного демультиплексора

Структура двоканального одномодового демультиплексора приведена на рис. 2.6.2.1. Такі пристрої виготовляють на основі технології сплавних біконічних разветвителей. При цьому виробляється сплавом в зоні нагріву і розтягнення сплавленого ділянки двох кварцових світловодів. В результаті формується робоча область демультиплексор - загальна звужена зона, обмежена з двох сторін плавними конічними переходами, яка є областю зв'язку [10]. Рівень потужності, переданої з одного волокна в друге, залежить від довжини хвилі випромінювання, що передається по волокну, і довжини галузі зв'язку  $L$ .

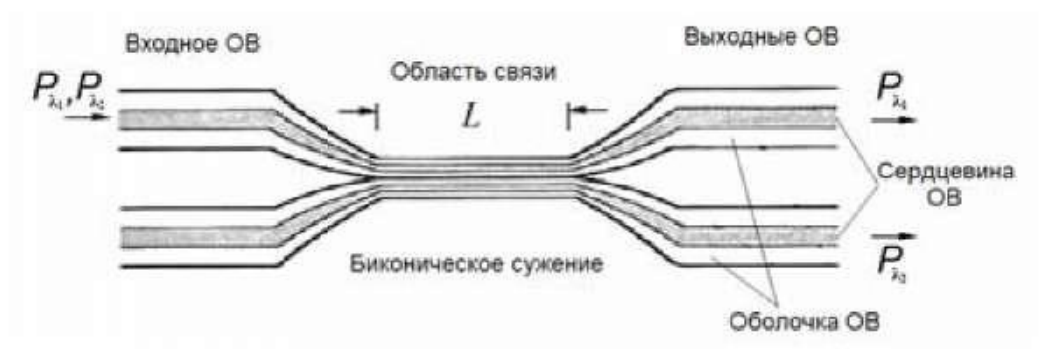


Рис. 2.6.2.1. Схематичне зображення сплавного демультиплексора

Аналіз одномодового біконічного розгалужувача зазвичай ґрунтується на розгляді поширення в ньому двох (парної і непарної) фундаментальних мод [11, 12].

В результаті такого аналізу визначаються значення потужності оптичного випромінювання  $P_1$  і  $P_2$  в вихідних каналах розгалуджувача:

$$\begin{pmatrix} P_1 \\ P_2 \end{pmatrix} = P_0 \begin{bmatrix} \cos^2(C(\lambda)L) \\ \sin^2(C(\lambda)L) \end{bmatrix} \quad (1)$$

де  $P_0$  - значення вхідної потужності;  $C(X)$  - коефіцієнт зв'язку;  $L$  - довжина області зв'язку.

Коефіцієнт зв'язку, що визначає ступінь взаємодії між власними модами хвилеводу з постійним поперечним перерізом і постійним ПП на довжині взаємодії, розраховується за формулою:

$$C(\lambda) = \frac{3\pi\lambda}{32n_{cl}^2a^2} \left[ \left( 1 + \frac{1}{V(\lambda)} \right)^{-2} + \left( 1 + \frac{n_{air}^2}{n_{cl}^2} \times \frac{1}{V(\lambda)} \right) \right] \quad (2)$$

де  $2a$  - діаметр перетяжки;  $n_{cl}$ ,  $n_{air}$  - показники заломлення кварцової оболонки і навколишньої перетяжки середовища;  $\lambda$  - довжина хвилі оптичного випромінювання.

Параметр  $V(X)$  визначається виразом:

$$V(\lambda) = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_{cl}^2 - n_{air}^2} \quad (3)$$

Аналіз наведених співвідношень показує, що величина оптичної потужності в вихідних каналах сплавного розгалуджувача залежить від довжини і діаметру перетяжки (області зв'язку), довжини хвилі випромінювання і ПП кварцової оболонки і середовища, в яку поміщений сплавна ділянка волокон. Так як для реального сплавного розгалуджувача значення  $L$  фіксоване, а коефіцієнт зв'язку  $C$

залежить від довжини хвилі випромінювання, такий перехідник буде володіти спектрально-селективними властивостями.

На рис. 2.6.2.2. представлена залежність коефіцієнта розподілу від довжини перетяжки для випромінювання з довжиною хвилі 1310 нм і 1550 нм [13].

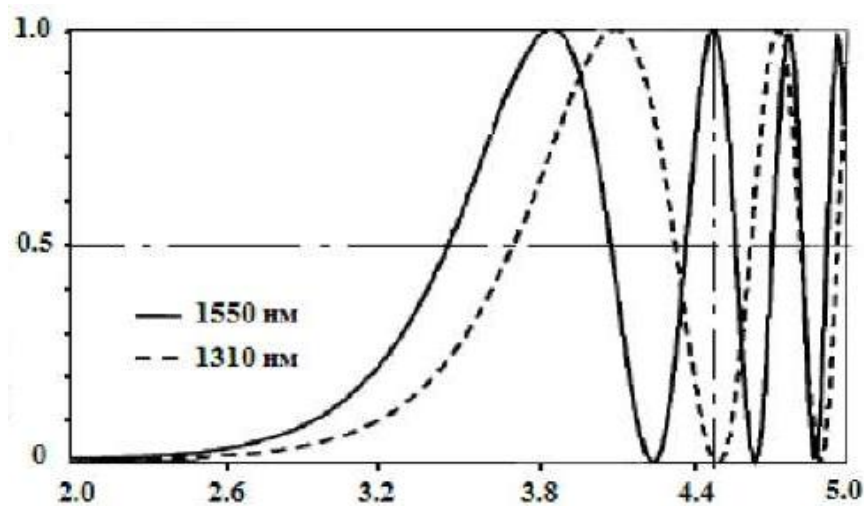


Рис. 2.6.2.2 Залежність відносної потужності оптичного випромінювання в вихідному каналі демультиплексор від довжини перетяжки для двох довжин хвиль (1310 і 1550 нм).

Як видно з малюнка при певній довжині перетяжки (області зв'язку), досягається розділення двох довжин хвиль, тобто режим демультиплексирования. Таким чином, виготовляючи розгалужувач з областю зв'язку певної довжини, добиваються об'єднання або поділу довжин хвиль.

Основними характеристиками демультиплексора є внесені втрати  $A$  і коефіцієнт ізоляції  $K_{iz}$ . Для двоканального пристрою зазначені параметри визначаються наступними виразами:

$$A = 10 \lg \frac{P_0}{P_i}; \quad K_{iz} = 10 \lg \frac{P_0}{P_j}, \quad (4)$$

де  $P_0$  - оптична потужність у вхідному каналі на довжині хвилі  $\lambda_i$ ,  $P_i$  - оптична потужність на виході  $i$ -го каналу на довжині хвилі  $P_j$  - оптична потужність в  $j$ -му каналі на довжині хвилі  $\lambda_i$ .

З метою підвищення коефіцієнта ізоляції використовується каскадне з'єднання демультиплексорів, показане на рис. 14

У цьому випадку характеристики демультиплексор визначаються наступними виразами:

$$A = \sum_{m=1}^N A_m + (N-1) \cdot A_{ce}; \quad K = \sum_{m=1}^N K_m, \quad (5)$$

где  $N$  - число каскадов последовательно соединенных демультиплексоров,  $A_m$  и  $K_m$  - вносимые потери и коэффициент изоляции демультиплексора с номером  $m$  соответственно,  $A_{ce}$  - потери в сварном соединении волокон.

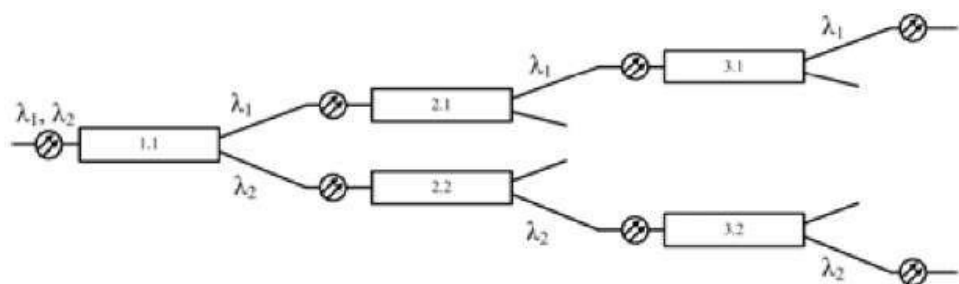


Рис. 14. Демультиплексор с підвищеним коефіцієнтом оптичної ізоляції ( $N=3$ ).

### 2.6.3 Методика виготовлення демультиплексорів

Технологія виготовлення демультиплексорів аналогічна технології виготовлення сплавних волоконних розгалужувачів і заснована на сплаві двох одномодових волокон з одночасною розтяжкою області з'єднання з метою отримання плавного біконічного переходу, необхідного для оптичного зв'язку між волокнами [2]. Метод отримання сплавних волоконних структур ілюструється рис. 15.

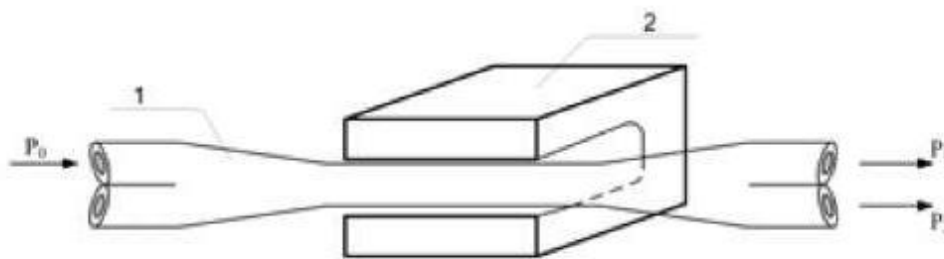


Рис. 2.6.3.1. Метод виготовлення сплавних волоконних демультимплексорів: 1 – оптичні волокна, 2 – нагрівач.

Очищені від захисного покриття ділянки оптичних волокон з'єднуються між собою боковими поверхнями, закріплюються на рухомих каретках пристрої розтяжки і поміщаються в зону нагрівача. Після нагріву до температури, що забезпечує сплав волокон, проводиться розтяжка зони сплаву з метою отримання плавного біконічного переходу.

Основними технологічними параметрами при виготовленні розгалужувачів є температура нагріву волокон і швидкість розтягування зони сплаву. Для забезпечення щільного з'єднання волокон між собою може використовуватися їх скручування навколо поздовжньої осі.

В процесі розтяжки зони сплаву вимірюються поточні значення потужності випромінювання  $P_1$  і  $P_2$  в вихідних портах. Процес зупиняється після заданої кількості осциляцій вихідної оптичної потужності при досягненні мінімального значення потужності в одному з вихідних каналів.

Сформована таким чином сплавна структура закріплюється на підкладці з кварцового скла з використанням акрилової полімерної композиції з додаванням наповнювача, що забезпечує низьке значення температурного коефіцієнта розширення. Для подальшої герметизації така структура поміщується в металевий циліндричний корпус діаметром 3 мм і довжиною 65 мм.

## 2.7 OADM модули

OADM-модуль (Optical Add Drop Multiplexor), інше скорочене найменування «AddDrop-модуль» - представляє з себе пасивний оптичний пристрій, що встановлюється в розриві оптичної лінії і забезпечує відбір із загального потоку 2 оптичні хвилі, і пропускає інші оптичні хвилі далі в канал. Це означає, що OADM-модуль забезпечує виділення 1 двостороннього каналу на трасі, до надходження сигналу в кінцеву точку траси.

Основні властивості:

- Введення/виведення одного CWDM каналу (дві несучі, частотна сітка збігається з частотною сіткою SFP CWDM модулів).
- Пасивна оптика.
- Низькі вносимі втрати для транзитних CWDM каналів.
- Виділена довжина хвилі кінцевому користувачеві.

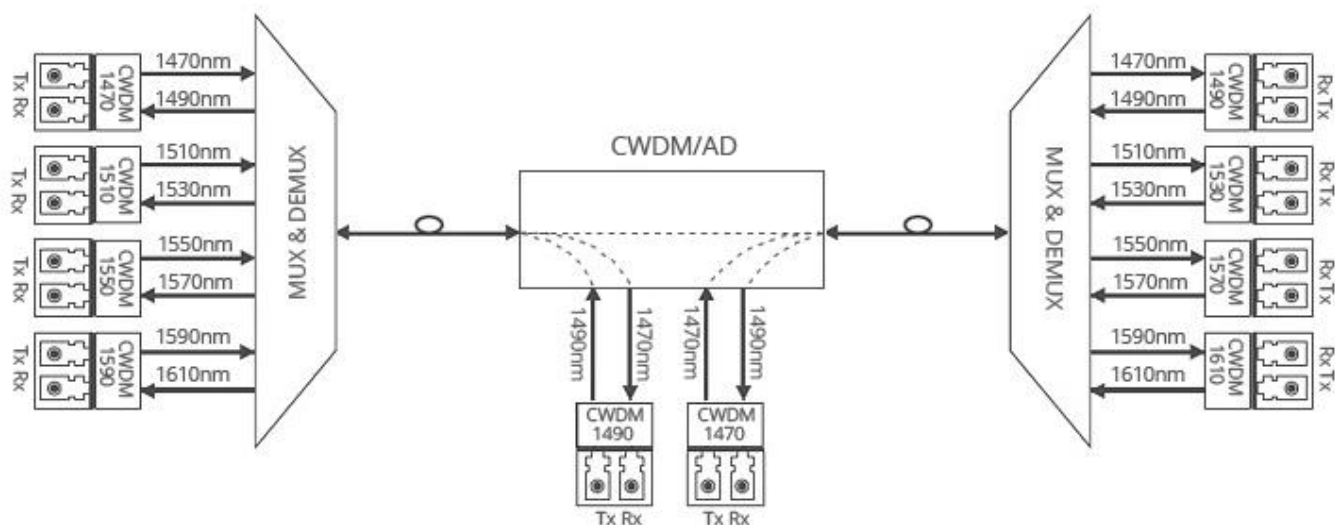


Рис. 2.7.1. Схема роботи одноканального двонаправленого Add/Drop MUX/DEMUX

Порти OADM позначаються наступним чином:

- Порт Com1 - прийом сигналу від мультиплексора.
- Порт Express - передача сигналу далі по мережі.

- Порт Add (додати) - відправляє в волокно сигнал необхідної довжини світлової хвилі.
- Drop - видаляє з оптоволокна сигнал необхідної довжини світлової хвилі.



Рис. 2.7.2. CWDM Optical Add-Drop Module (OADM), 100GHz

Як було вже вказано, OADM-модулі пристрою повністю пасивні, функціонал яких реалізований за допомогою призм і лінз. Це несе з собою як позитивні наслідки - вони не вимагають живлення, можуть встановлюватися на вулиці, в муфтах, так і негативні - додаткові елементи в ланцюгу, вносять додаткове загасання - як правило до 1,5dB на кожній довжині хвилі, причому не тільки на «відхиляємому» каналі, а й на «наскрізному».



## РОЗДІЛ 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ МЕРЕЖІ «УРАН» У М. ХМЕЛЬНИЦЬКОМУ

### 3.1 Топологія волоконно-оптичних кабелів мережі «УРАН» в м. Хмельницькому

В рамках магістерської дисертації була поставлена задача дослідити та модифікувати наявну мережу «УРАН» в м. Хмельницькому (рис. 18) – перевести її на технологію спектрального ущільнення каналів (CWDM) забезпечивши безперебійну передачу даних.

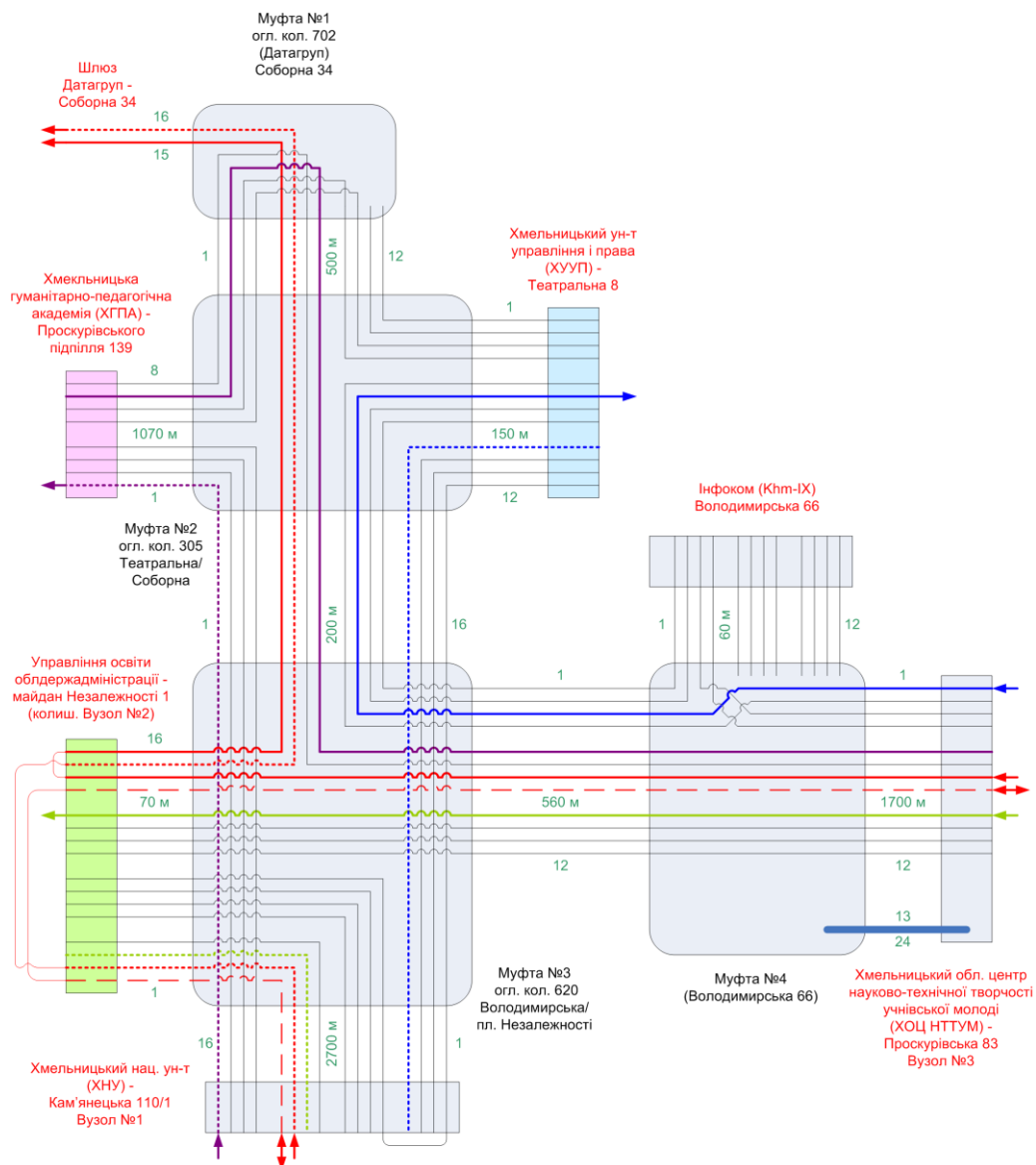


Рис. 3.1.1. Наявна топологія оптичної мережі «УРАН» в м. Хмельницькому [14].

З рисунку видно, що в місті є 2 вузлових комутатора – один знаходиться в Хмельницькому обласному центрі науково-технічної творчості учнівської молоді (ХОЦ НТТУМ), а інший в Хмельницькому національному університеті (ХНУ). Ці два вузлових комутатора з'єднанні між собою оптичним волокном та використовують STP протокол.

Spanning Tree Protocol (STP, протокол остоного дерева) - каналний протокол. Основною задачею STP протоколу є усунення петель в топології довільній мережі Ethernet, в якій є один або більше мережевих мостів, пов'язаних надлишковими з'єднаннями. STP вирішує цю задачу, автоматично блокуючи з'єднання, які в даний момент для повної зв'язності комутаторів є надлишковими.

Для досягнення мети було запропоновано на стороні кожного абонента – Хмельницької гуманітарно-педагогічної академії (ХГПА), Хмельницького університету управління та права (ХУУП) та Управління освіти обласної державної адміністрації (УО ОДА) - встановити MUX/DEMUX на приймаючій та передаючій сторонах, а також встановити все нове обладнання паралельно існуючому для здійснення безперебійної подачі даних. Таким чином, нову схему мережі можна представити у наступному вигляді:

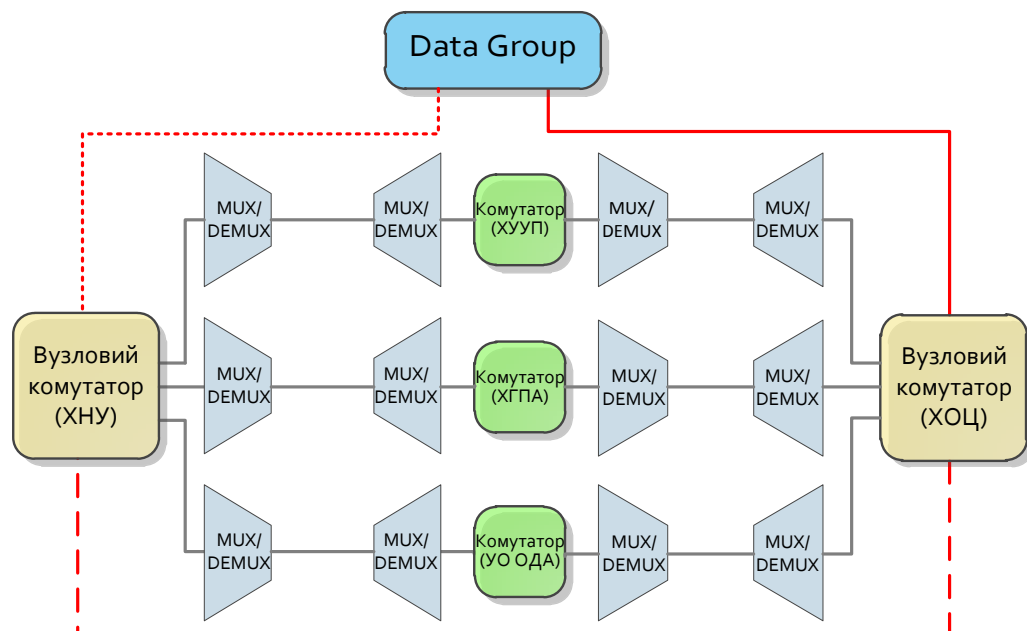


Рис. 3.1.2. Схема мережі із застосування технології CWDM.

### 3.2 Обладнання

Оскільки кожному клієнту необхідно підвести щонайменше по 2 окремих каналів, то для побудови такої системи необхідно 6 мультиплексорів, а також 6 пар SFP трансиверів. Враховуючи, що мережа в недалекому майбутньому буде розширюватись необхідно мати мультиплексори хоча б на 4 канали, таким чином залишивши 3 канала вільними для майбутніх підключень.

Для цієї задачі було запропоновано використати мультиплексор компанії Cisco, який має наступні характеристики (табл. 3.2.1)

Табл. 3.2.1. Характеристики мультиплексора.

Довжина хвилі	4кн. 1270-1330nm	Рознос каналів	20nm
Вид лінії	Двоволоконна	Порт клієнта	Дуплекс LC/UPC
Корпус	Вставний модуль	Розмір	212mm(W) x 267.3mm(D) x 44mm(H)
Внесені втрати	< 1.8 dB	Зворотні втрати	> 45 dB
Робоча температура	-5°C~ +75°C	Температура зберігання	-40°C~+80°C

Серед SFP трансиверів, враховуючи потреби у швидкості передачі даних, був запропонований Cisco Compatible 10G CWDM SFP+ 1270nm 20km Transceiver Module. Данний трансивер набагато дешевший за свій аналог з несучою хвилею 1510 нм, оскільки працює в другому вікні прозорості, та, звідси, має дещо вищі показники затухання сигналу.

Табл. 3.2.2. Характеристики SFP+ трансивера.

Тип форми	SFP+	Макс. швид. передачі даних	11.0957Gbps
Довж. хвилі	1430nm	Макс. відстань	20km
Інтерфейс	LC дуплекс	Оптичні компоненти	DFB CWDM
Тип кабеля	SMF	DOM Функція	+
Потужність	-6~0dBm	Чутливість приймача	<-14.4dBm
Температурний діапазон	0 ~ 70°C (32 ~ 158°F)	Протокол	MSA

Останнім пристроєм являється вузлові комутатори, що повинні мати змогу вмістити всі наявні SFP трансивери та майбутні, а також комутатори на стороні клієнтів з Ethernet портами.

Вузловий комутатор N5850-48S6Q (48\*10GbE+6\*40GbE) 10GbE містить в собі 48 роз'ємів для SFP+ трансиверів з швидкістю передачі даних 10 Gbs, та вільних 6 портів для трансиверів з швидкістю 40 Gbs. Таким чином, ми можемо у разі необхідності збільшити пропускну здібність системи.

Табл. 3.2.3. Характеристики вузлового комутатора.

Клас коммутатора	L3, ЦОД	Операційна система	Broadcom ICOS
Чіп коммутатора	Trident 2 BCM56854	CPU	Intel Rangeley C2538 2.4Ghz 4-core
Коммутаційна здібність	1.44Tbps Повний дуплекс	Буферна пам'ять	12M

Затримка	680ns	Макс. споживна потужність	200W
----------	-------	---------------------------	------

Для комутаторів на стороні клієнта був запропонований S3800-48T4S (48\*10/100/1000Base-T+4\*10GE SFP+), що має 48 портів для Ethernet кабелів та 10 портів для SFP+.

Табл. 3.2.4. Характеристики комутатора на стороні клієнта.

Клас коммутатора	Layer2+	Чіп коммутатора	BCM53346
CPU	ARM	Місткість комутації	176Gbps
Таблиця MAC-адресів	16K	Швидкість переадресації	130Mpps
Jumbo-кадри	12K	VLANs	4K
Макс. споживна потужність	≤60W	SDRAM	512MB
Споживна потужність	≤25W	Flash пам'ять	16MB
Блок живлення	90-260VAC, 50-60Hz	Гарантія	1 Year

### 3.3 Модифікація топології мережі

Для підключення нового обладнання паралельно існуючому необхідно модифікувати наявну топологію оптичної мережі «УРАН». Нам відомо, що SFP трансівери та мультиплексори для успішної роботи використовують по 2 жили,

таким чином до кожного клієнта потрібно підвести по 2 оптичні жили з кожного вузлового комутатора, тобто 4 жили в загальній сумі.

Затухання оптичного сигналу залежить не тільки від пасивного та активного обладнання, але й від протяжності жили, кількості муфт та зварок у місцях зкріплення жил. Тому при модифікації топології було запропоновано зварка у муфті №4, що знаходиться за адресою вул. Володимирська 66, для запобігання використання муфти Інфоком та встановлення патч-корду.

На рис. 20 зображена нова топологія оптичної мережі «УРАН», де чорним кольором зображені жили наявної технології.

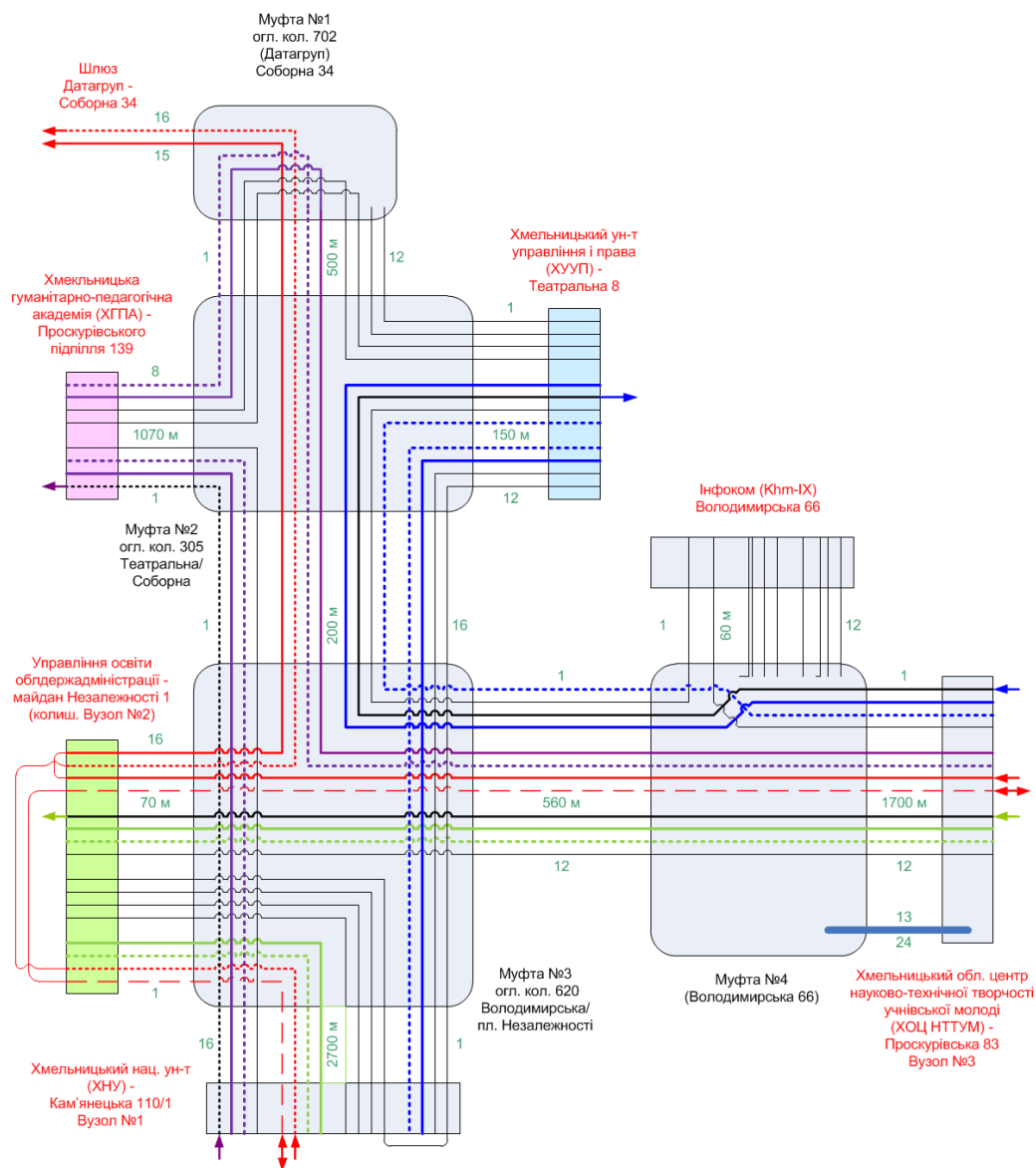


Рис. 3.3.3. Модифікована топологія оптичної мережі «УРАН» в м. Хмельницькому

## РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Модернізація наявної топології оптичної лінії зв'язку із застосуванням технології CWDM м. Хмельницький	Міські та регіональні оптичні мережі	Збільшена пропускна здатність та швидкість передачі даних в оптичному волокні; технологія являється значно більш економічною та стабільною в порівнянні з технологією PON

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів		W (слабка сторона)	N (нейтральна)	S (сильна сторона)
		Технологія CWDM	Технологія PON			
1.	Економічні	250000 грн	180000		-	
2.	Призначення	Підведення мережі інтернет з більшою пропускною здатністю	Підведення мережі інтернет			+
3.	Надійності	Довговічність – 5 років	Довговічність – 5 років			+
4.	Технологічні	Швидкість передачі даних – до 20 ГБіт/с	Швидкість передачі даних – до 1 ГБіт/с		+	
5.	Ергономічні	-	-		+	
6.	Органолептичні	-	-		+	
7.	Естетичні	-	-		+	
8.	Транспортабельності	-	-		+	
9.	Екологічності	Екологічно	Екологічно		+	
10.	Безпеки	Безпечно	Безпечно		+	

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Модернізація наявної топології оптичної лінії зв'язку із застосуванням технології CWDM м. Хмельницький	CWDM — Coarse Wavelength Division Multiplexing	В наявності	Доступна

Таблиця 4.4. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Більша пропускна здібність оптичних жил, більша швидкість передачі даних	Заклади науки, освіти та культури, державні установи	Поведінку клієнта формує ринок.	- <u>допродукції</u> : швидкість передачі даних 10 Гбіт/с. - <u>докомпанії</u> : безперебійне постачання послуги

Таблиця 4.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Тип конкуренції: Олігополія	На ринку присутня невелика кількість фірм, існує фірма – лідер	Підвищення якості та надійності передачі інформації з використання нових технологій
Рівень конкурентної боротьби: локальний	Постачальник послуги обмежується містом	Маркетингове просування свого проекту
Галузева ознака:	Надання однакової послуги з	Регулярні дослідження на



Внутрішньогалузева	різними варіантами її реалізації та обслуговування	наявність нових технологій
Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	Конкуренція між близькими одна до одної технологіями	Покращувати якість обслуговування
Характером конкурентних переваг: Цінова	Дає можливість продавати послуги за значно менші гроші	Продавати послуги за принципом: ціна-якість.
Інтенсивність: Немарочна	Роль торгової марки незначна	Реклама технології

Таблиця 4.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«Релком-подолье»	Немає	Продається безпосередньо розробниками	Вимоги до якості	Замінників немає
Висновки:	Конкуренти вже давно на ринку	Немає	Постачальники не диктують умови роботи на ринку	Обслуговування має бути якісним та дешевим	Обмежень немає

Таблиця 4.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Більша пропускну здатність	Конкуренти не мають даного фактору, що має велике значення для модернізації системи.
2.	Висока швидкість передачі даних	Модернізація дає змогу постачати більшу швидкість інтернету, аніж PON
3.	Економічна	Ціна модернізації технології не висока

Таблиця 4.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін проекту

п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг конкурентів у порівнянні						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1.	Ступінь покращення характеристик системи після модернізації.	19						+	
2.	Якість розробки з точки зору показників якості та довговічності	17						+	
3.	Наявність наукових ресурсів	20				+			
4.	Економічний (вартість модернізації)	10						+	

Таблиця 4.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: Покращення характеристик системи після модернізації.	Слабкі сторони: Вартість модернізації системи
Можливості: Більша пропускна здатність та швидкість передачі даних;	Загрози: Збільшення собівартості модернізації за рахунок збільшення вартості ресурсів і компонентів

Таблиця 4.10. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
----------	--	---	---	--------------------------------------	--------------------------

1.	Заклади науки, освіти та культури.	Готові	Високий	Середня	Середня
2.	Державні установи	Готові	Високий	Середня	Середня
Які цільові групи обрано: обрано цільову групу №1 та 2					

Таблиця 4.11. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	4	В якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів.	Турбота про розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.12. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
1.	Так	Так	Ні	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 4.13. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
-------	-------------------------------------	---------------------------	--	--

			стартап-проекту	
1.	Висока пропускна здатність, швидкість передачі даних, стабільність	Стратегія заняття конкурентної ніші	Ступінь покращення характеристик інтернету.	Оптимальне співвідношення ціна/якість, оптимізоване обслуговування, співпраця.

Таблиця 4.14. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар\технологія	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1.	Покращення пропускної здатності та швидкості інтернету	Збільшення швидкості, пропускної здатності	Збільшення швидкості, пропускної здатності
2	Надійність	Довготривале використання	Стабільність процесу

Таблиця 4.15. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Заказ товару на сайті або безпосередньо у розробників	Встановлення контакту, інформування	Канал нульового рівня	Розробник збуває технологію користувачам

## ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день, інтернет є необхідною та невідомою частиною суспільства. Потреба у більшій швидкості та пропускної здатності постійно зростає. Технологія спектрального ущільнення каналів CWDM являється як раз тією технологією, що може задовольнити потреби споживачів. На відмінну від технології PON, CWDM має більшу швидкість передачі даних та пропускну здатність, для її впровадження та підтримки використовуються набагато менше оптичних жил.

Також, однією з головних переваг такої технології являється стійкість системи. На відмінну від PON, CWDM використовує набагато меншу кількість пристроїв, які легко виявити у разі несправності одного з них. А відсутність великої кількості оптичних розгалужувачів дозволяє використовувати передавачі з меншою потужністю сигналу.

CWDM технологія також значно більше захищена, оскільки для передачі даних використовуються окремі канали, коли як PON технологія має загальне середовище передачі яке потребує постійне шифрування даних.

Таким чином, модернізація топології оптичної мережі «УРАН» у м. Хмельницький із застосування технології спектрального ущільнення каналів являється важливою та необхідною задачею, яка збільшить якість та швидкість надання послуги в місті.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Слепов Н.Н. Аппаратура и функциональные модули сетей SDH // Сети и системы связи. – 1996. - №1. – С.88-96.
2. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети. – М.:Эко-Трендз, 1998. - 269 с.
3. Петренко И.И., Убайдуллаев Р.Р. Пассивные оптические сети PON. Часть 2. Ethernet на первой миле, 2004, №2.
4. Веб-ресурс - <https://deps.ua/knowledge-base-ru/articles/item/462-praktika-vnedrenija-passivnyh-opticheskikh-setej-pon.html>.
5. Kobayashi K. et al. Micro-optic Devices for Branching, Coupling, Multiplexing and Demultiplexing // Technical Digests of the First Integrated Optics and Optical Fiber Communication Conference. – Tokyo. – 1977. – P. 367-370.
6. Laude J.-P. Diffraction-Limited Wavelength Multiplexers/Demultiplexers: A New Approach // Technical Digests of the Third Integrated Optics and Optical Fiber Communication Conference. San-Francisco. – 1981. P. 66-67.
7. Watanabe R. et al. Optical Demultiplexer Using Concave Grating in 0.7-0.9  $\mu\text{m}$  Wavelength Region // Electronics Letters. – 1980. – Vol. 16. - № 3. – P. 106-107.
8. В.Ш. Берикашвили, Н.Т. Ключик, К. Н. Костенко, М.Я. Яковлев. Интегрально-оптические волноводные дисперсионные элементы для ВОЛС // Технология и конструирование в электронной аппаратуре. - 2005. - №2. - С.10-16.
9. Веб – ресурс - <http://www.konturm.ru/newsprint.php?id=help/stat120310>
10. Ю.В.Рождественский. Сплавные волоконно-оптические мультиплексоры/демультиплексоры и их применение в телекоммуникационных системах // Фотон-экспресс. 2004. №1. С.16–18.

11. А.Б.Иванов. Волоконная оптика. Компоненты, системы передачи, измерения. М.: Компания САЙРУС СИСТЕМС. 1999. 672 с.
12. D.Marcuse. Theory of dielectric optical waveguides. Boston: Academic Press. 1991. 380 p.
13. А.Н.Ключник, К.Н.Костенко, В.Ф.Фаловский, М.Я.Яковлев. Одномодовые спектрально-селективные разветвители для систем передачи информации // Высокие технологии в промышленности России Материалы 12 Международной научно-технической конференции. М.: ЦНИТИ "Техномаш". 2006.
14. Веб – ресурс - <http://www.uran.ua/maps/xmelnitsky.gif>